

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年10月16日

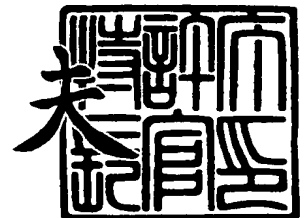
出願番号  
Application Number: 特願2002-301878  
[ST. 10/C]: [JP2002-301878]

出願人  
Applicant(s): 株式会社ニコン

2003年 9月12日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2003-3075306

【書類名】 特許願

【整理番号】 NK14547000

【提出日】 平成14年10月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 26/08

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

【氏名】 石津谷 徹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
内

【氏名】 鈴木 純児

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社 ニコン

【代表者】 嶋村 輝郎

【代理人】

【識別番号】 100084032

【弁理士】

【氏名又は名称】 三品 岩男

【電話番号】 045(316)3711

【選任した代理人】

【識別番号】 100104570

【弁理士】

【氏名又は名称】 大関 光弘

【電話番号】 045(316)3711



## 【選任した代理人】

【識別番号】 100102820

【弁理士】

【氏名又は名称】 西村 雅子

【電話番号】 045(316)3711

## 【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002- 2729

【出願日】 平成14年 1月 9日

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011992

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0117772

【プルーフの要否】 要

**【書類名】 明細書**

**【発明の名称】** 光学素子、薄膜構造体、光スイッチ、および、光学素子の製造方法

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の光学素子において、前記支持部は、前記光反射部を構成する膜の主平面を前記基板の主平面に対して垂直に支持していることを特徴とする光学素子。

**【請求項 3】**

請求項 1 または 2 に記載の光学素子において、前記支持部は、熱膨張係数の異なる 2 以上の膜を積層した構成であることを特徴とする光学素子。

**【請求項 4】**

請求項 1、2 または 3 に記載の光学素子において、前記光反射部を構成する膜の主平面と前記基板の主平面との角度を一定に維持するストッパーを有することを特徴とする光学素子。

**【請求項 5】**

請求項 4 に記載の光学素子において、前記ストッパーは、前記光反射部と前記基板との間に挿入された角度保持部であり、

前記角度保持部は、一方の端部が前記基板に固定され、前記一方の端部から他方の端部に向かって湾曲した膜を含むことを特徴とする光学素子。

**【請求項 6】**

請求項 5 に記載の光学素子において、前記角度保持部の前記膜の膜面は、前記

光反射部の主平面に対して垂直であり、前記角度保持部の前記膜の側面が前記光反射部と接していることを特徴とする光学素子。

【請求項 7】

請求項 5 または 6 に記載の光学素子において、前記角度保持部は、前記光反射部の主平面の両側に少なくとも 1 以上ずつ配置されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の光学素子において、前記角度保持部の前記膜の向きは、前記支持部を構成する膜の湾曲の向きと逆向きであり、

前記角度保持部の前記膜の前記他方の端部には、第 2 の光反射部が接続され、該第 2 の光反射部は、前記光反射部と重なっていることを特徴とする光学素子。

【請求項 9】

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の光学素子において、前記光反射部は、前記支持部の前記湾曲した膜の前記他方の端部から前記基板に向けてつり下げられていることを特徴とする光学素子。

【請求項 10】

請求項 4 に記載の光学素子において、前記ストッパーが前記光反射部を構成する部材の一部と接する薄膜立体構造体であり、該薄膜立体構造体は、前記基板上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜より一体に構成され、積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着していることを特徴とする光学素子。

【請求項 11】

基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、前記光反射部および支持部は、それぞれ、1 以上の膜によって構成され、前記支持部は、連結された 2 以上の部材からなり、該部材のうち第 1 の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第 1 の部材は、前記一方の端部から前記他方の

端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の光学素子において、前記支持部は、前記第 1 の部材と前記光反射部を構成する膜とを連結するための第 2 の部材を含み、該第 2 の部材は湾曲した膜であり、該第 2 の部材の湾曲の向きは、前記第 1 の部材の湾曲の向きとは逆向きであることを特徴とする光学素子。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の光学素子において、前記光反射部を構成する膜は、周縁部に段差が形成されていることを特徴とする光学素子。

【請求項 14】

請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の光学素子において、前記支持部の温度を調節するための温度調節部をさらに有することを特徴とする光学素子。

【請求項 15】

請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の光学素子において、前記光反射部は、該光反射部を構成する膜の成膜時に前記基板側であった面を光反射面として用いることを特徴とする光学素子。

【請求項 16】

基板と、平板と、前記平板を前記基板上に支持する支持部とを有し、  
前記支持部は、1 以上の膜によって構成され、  
前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記平板と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体。

【請求項 17】

基板と、平板と、前記平板を前記基板上に支持する支持部とを有し、  
前記支持部は、連結された 2 以上の部材からなり、該部材のうち第 1 の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記平板と接続され、前記第 1 の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって

湾曲することにより、前記平板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体。

【請求項 18】

ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、

前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 19】

ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、

前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部は、膜によって構成され、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 20】

基板上に、開口を有する犠牲層を形成する工程と、

前記犠牲層上の前記開口にかかる位置に予め定めた形状の支持膜を形成するとともに、前記犠牲層上の前記支持膜の一方の端部に接続される位置に光反射膜を形成する工程と、

前記犠牲層を除去することにより、前記支持膜の内部応力により前記支持膜を湾曲させて、前記光反射膜の主平面を前記基板の主平面に対して非平行に支持さ

せることを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項 21】

請求項 20 に記載の光学素子の製造方法において、前記犠牲層をレジストにより形成することを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項 22】

請求項 20 または 21 に記載の光学素子の製造方法において、前記支持膜を熱膨張係数の異なる材料からなる 2 以上の層の積層体により形成することを特徴とする光学素子の製造方法。

【請求項 23】

光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接するストッパーとを有し、

前記ストッパーは、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜により一体に構成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着していることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 24】

請求項 23 に記載の光スイッチにおいて、前記ミラー部は、前記光反射部材を前記可動部上に支持するために支持部とを有し、

前記支持部は、連結された 2 以上の部材からなり、該部材のうち第 1 の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部材と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部材を前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 25】

請求項 23 または 24 に記載の光スイッチにおいて、



前記単位構造部材を構成する薄膜は、周縁に段差が形成されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 26】

請求項 23、24 または 25 に記載の光スイッチにおいて、

上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の平面部に搭載された形状であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 27】

請求項 26 に記載の光スイッチにおいて、

積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構造部材ほど、前記支持部の数が少ないことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 28】

請求項 23 から 27 のいずれか 1 項に記載の光スイッチにおいて、

複数の前記単位構造部材のうち、最下段の単位構造部材は、前記可動部と一体に構成されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 29】

請求項 23 から 28 のいずれか 1 項に記載の光スイッチにおいて、

複数の前記単位構造部材のうち、少なくとも一つの単位構造部材は、前記ミラー部を構成する部材を成す薄膜と同一の薄膜をパターンニングすることにより構成されていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 30】

請求項 23 または 24 に記載の光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、3 層膜であり、該 3 層膜のうち最上層の膜と最下層の膜とは、同じ材質であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 31】

光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接するストッパーとを有し、

前記ストッパーは、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材

を有し、

前記単位構造部材は、中空の開口を有する支持部と、前記開口を覆う平面部と、前記支持部の前記中空の開口を充填する充填材とを含み、前記支持部および前記平面部は、それぞれ薄膜によって形成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構成部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の前記平面部に搭載された形状であることを特徴とする光スイッチ。

#### 【請求項 3 2】

請求項 3 1 に記載の光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部を構成する前記薄膜と、それを搭載する下の段の前記単位構造部材の前記平面部を構成する前記薄膜とが、固着していることを特徴とする光スイッチ。

#### 【請求項 3 3】

基板と、一方の端部が基板に固定された可動部と、前記可動部の他方の端部側に搭載されたミラー部とを有し、

前記可動部は、2 以上の膜によって構成され、該 2 以上の膜の内部応力によって湾曲することにより、前記ミラー部を搭載した他方の端部を前記基板上に持ち上げる構成であり、

前記ミラー部は、光反射面が、前記基板の主平面に対して垂直方向を向くように前記可動部に搭載された光反射部材を有し、

該光反射部材は、上端の縁が、前記可動部が前記ミラー部を持ち上げた状態で、前記基板に対して平行になるように、傾斜して前記可動部に搭載されていることを特徴とする光スイッチ。

#### 【請求項 3 4】

基板と、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1 以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記

他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子。

【請求項 35】

光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、1以上の膜からなり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、少なくとも前記固定された前記一方の端部に近い部分は、2以上の膜が積層された積層体からなり、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記可動部には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って段差が形成されていることを特徴とする光学装置。

【請求項 36】

請求項 35 に記載の光学装置において、前記段差を形成するために、前記可動部には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って凸部が形成されていることを特徴とする光学装置。

【請求項 37】

光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、少なくとも一部が2以上の膜からなる積層体であり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記積層体は、金属膜を含み、前記金属膜は、予め定められたパターンにパターニングされており、前記パターンは、静電力により前記可動部を駆動するための電極として作用する静電力用電極パターンを含むことを特徴とする光学装置。

【請求項 38】

請求項 37 に記載の光学装置において、前記金属の膜の前記パターンは、さらに、ローレンツ力により前記可動部を駆動するための電流経路として作用するロ

ーレンツ力用電流路パターンを含むことを特徴とする光学装置。

【請求項 39】

請求項 38 に記載の光学装置において、前記静電力用電極パターンおよび前記ローレンツ力用電流路パターンは、それぞれ、前記基板に固定された前記一方の端部を介して、前記基板の電圧印加配線および電流供給配線に接続されていることを特徴とする光学装置。

【請求項 40】

請求項 35 から 39 のいずれか 1 項に記載の光学装置において、前記光学素子は、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1 以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記支持部は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、薄膜により形成された光学素子、および、この光学素子を備えた光スイッチに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

微小なミラーをアクチュエータにより移動させて光路中に挿入することにより、光路を切り換える光スイッチが例えば特開 2001-42233 号公報に記載されている。この光スイッチは、マイクロマシニング技術によって、微小なミラーを搭載した可動電極板を形成している。微小なミラーは、反射面が可動電極板の主平面に対して垂直である。可動電極板と対向する位置には、固定電極が配置され、可動電極板と固定電極との間に電圧を印加することにより、静電力により

、可動電極板を移動させる。これにより、微小なミラーを光路中に挿入したり、光路中から取り出したりする構造である。

#### 【0003】

上記特開 2001-42233 号公報記載の光スイッチでは、可動電極板上にミラーを形成するために、可動電極板となる薄膜上に、ミラーの高さ分の厚さを有するフォトレジスト膜を形成し、フォトレジスト膜にミラーの形状のエッチングホールを設け、エッチングホール内にめっき法に金属膜を成長させた後、フォトレジスト膜を除去している。

#### 【0004】

また、特開 2001-142008 号公報にも、微小なミラーをアクチュエータ上に搭載し、アクチュエータによりミラーを光路中に移動させて、光路を切り換える光スイッチが開示されている。

#### 【0005】

また、Sensors and Actuators A, 33(1992)249-256、"Microfabricated Hinges" には、基板上にプレートとなる膜を成膜し、このプレートを基板に対して垂直に起こすことにより、基板に垂直なプレートを形成することが開示されている。プレートとなる膜の形成プロセスにおいて、プレートの一方の端部と、基板とを接続するヒンジ構造を形成している。このヒンジを中心にプレートを起こし、微細な垂直構造体を形成している。

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上記特開 2001-42233 号公報記載の光スイッチの微小なミラーは、上述のように、ミラーの高さ分だけ厚く形成されたフォトレジスト膜にエッチングホールを設け、このエッチングホールにめっき法により金属膜を充填することにより形成される。このため、ミラー面は、エッチングホールの側面の表面形状を反転した形状となる。現状のフォトレジスト膜のエッチング技術では、エッチングホールの側面の主平面に対する角度を制御することは難しく、しかも、側面の表面粗さを滑らかにすることも難しい。このため、特開 2001-42233 号公報記載の方法で、可動電極板に対して反射面が垂直で、反射率の高いミラーを

製造することは困難であった。

【 0 0 0 7 】

また、特開平 2 0 0 1 - 1 4 2 0 0 8 号公報には、微小なミラー構造および製造方法についての詳しい記載はなされていない。

【 0 0 0 8 】

また、Sensors and Actuators A, 33(1992)249-256、"Microfabricated Hinges" に記載のプレートをヒンジにより垂直に起こして支える構成を、光スイッチのミラーに応用することが考えられるが、薄膜プロセスで形成されたプレートを、薄膜プロセスで形成された立体構造のヒンジにより垂直に支える構成であるため、ガタが生じやすく、強度も得にくい。このため、基板面に対してプレートを垂直に維持することは難しい。

【 0 0 0 9 】

本発明は、光束を所望の方向へ反射可能な反射部を備えた光学素子を提供することを目的とする。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明によれば、以下のような光学素子が提供される。

【 0 0 1 1 】

すなわち、基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1 以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記光反射部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子である。

【 0 0 1 2 】

上記光学素子において、前記支持部は、前記光反射部を構成する膜の主平面を前記基板に対して垂直に支持している構成にすることが可能である。

**【0013】**

上記光学素子において、前記支持部は、熱膨張係数の異なる2以上の膜を積層した構成にすることが可能である。

**【0014】**

上記光学素子において、前記光反射部を構成する膜の主平面と前記基板の主平面との角度を一定に維持するストッパーを有する構成にすることが可能である。

**【0015】**

上記光学素子において、前記ストッパーは前記光反射部と前記基板との間に挿入された角度保持部であり、前記角度保持部は、一方の端部が前記基板に固定され、前記一方の端部から他方の端部に向かって湾曲した膜を有する構成にすることが可能である。

**【0016】**

上記光学素子において、前記角度保持部の前記膜の膜面は、前記光反射部の主平面に対して垂直であり、前記角度保持部の前記膜の側面が前記光反射部と接している構成にすることが可能である。

**【0017】**

上記光学素子において、前記角度保持部は、前記光反射部の主平面の両側に少なくとも1以上つつ配置されている構成にすることが可能である。

**【0018】**

上記光学素子において、前記角度保持部の前記膜の湾曲の向きは、前記支持部を構成する膜の湾曲の向きと逆向きであり、

前記角度保持部の前記膜の他方の端部には、第2の光反射部が接続され、該第2の光反射部は、前記光反射部と重なっている構成にすることが可能である。

**【0019】**

上記光学素子において、前記光反射部は、前記支持部の前記湾曲した膜の前記他方の端部から前記基板に向けてつり下げられている構成にすることが可能である。

**【0020】**

上記光学素子において、前記ストッパーが前記光反射部を構成する部材の一部

と接する薄膜立体構造体であり、該薄膜立体構造体は、前記基板上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜より一体に構成され、積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着している構成にすることが可能である。

#### 【0021】

また、本発明によれば、以下のような光学素子が提供される。

#### 【0022】

すなわち、基板と、光反射部と、前記光反射部を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部は、膜によって構成され、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子である。

#### 【0023】

上記光学素子において、前記支持部は、第2の部材を含み、該第2の部材は湾曲した膜であり、該第2の部材の湾曲の向きは、前記第1の部材の湾曲の向きとは逆向きである構成にすることが可能である。

#### 【0024】

上記光学素子において、前記光反射部を構成する膜は、周縁部に段差が形成されている構成にすることが可能である。

#### 【0025】

上記光学素子において、前記支持部の温度を一定に維持するための温度調節部をさらに有する構成にすることが可能である。

#### 【0026】

上記光学素子において、前記光反射部は、該光反射部を構成する膜の成膜時に



前記基板側であった面を光反射面として用いる構成にすることが可能である。

【0027】

また、本発明によれば、以下のような薄膜構造体が提供される。

【0028】

すなわち、基板と、平面板と、前記平面板を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が前記平面板と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平面板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体である。

【0029】

また、本発明によれば、以下のような薄膜構造体が提供される。

【0030】

すなわち、基板と、平面板と、前記平面板を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記平面板と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記平面板の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする薄膜構造体である。

【0031】

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

【0032】

すなわち、ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、

前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部および支持部は、それぞれ、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が前記光反射

部を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチである。

【0033】

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

【0034】

すなわち、ミラー部と、前記ミラー部を搭載した可動部とを有し、

前記ミラー部は、光反射部と、前記光反射部を前記可動部上に支持する支持部とを有し、

前記光反射部は、膜によって構成され、

前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部を構成する膜と接続され、前記第1の部材は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部を構成する膜の主平面を、前記可動部の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光スイッチである。

【0035】

また、本発明によれば、以下のような光学素子の製造方法が提供される。

【0036】

すなわち、基板上に、開口を有する犠牲層を形成する工程と、

前記犠牲層上の前記開口にかかる位置に予め定めた形状の支持膜を形成するとともに、前記犠牲層上の前記支持膜の一方の端部に接続される位置に光反射膜を形成する工程と、

前記犠牲層を除去することにより、前記支持膜の内部応力により前記支持膜を湾曲させて、前記光反射膜の主平面を前記基板の主平面に対して非平行に支持させることを特徴とする光学素子の製造方法である。

【0037】

上記光学素子の製造方法において、前記犠牲層をレジストにより形成する方法にすることが可能である。

**【0038】**

上記光学素子の製造方法において、前記支持膜を熱膨張係数の異なる2以上の層の積層体により形成する方法にすることが可能である。

**【0039】**

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

**【0040】**

すなわち、光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接するストッパーとを有し、

前記ストッパーは、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、支持部と、該支持部によって支持された平面部とを含み、前記支持部および平面部は、連続した薄膜により一体に構成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、互いが接触する部分において、前記薄膜同士が固着していることを特徴とする光スイッチである。

**【0041】**

上記光スイッチにおいて、前記ミラー部は、前記光反射部材を前記可動部上に支持するために支持部とを有する構成にすることができ、

この場合、前記支持部は、連結された2以上の部材からなり、該部材のうち第1の部材は、一方の端部が前記可動部に固定され、他方の端部が他の部材を介して前記光反射部材と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光反射部材を前記可動部の主平面に対して非平行に支持する構成にすることができる。

**【0042】**

上記光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、周縁に段差が形成されている構成にすることができる。

**【0043】**

上記光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部が、

すぐ下の段の前記単位構造部材の平面部に搭載された形状であることが可能である。

【0044】

上記光スイッチにおいて、積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構造部材ほど、前記支持部の数が少ない構成にすることが可能である。

【0045】

上記光スイッチにおいて、複数の前記単位構造部材のうち、最下段の単位構造部材は、前記可動部と一体に構成されている構成にすることができる。

【0046】

上記光スイッチにおいて、複数の前記単位構造部材のうち、少なくとも一つの単位構造部材は、前記ミラー部を構成する部材を成す薄膜と同一の薄膜をパターンニングすることにより構成することができる。

【0047】

上記光スイッチにおいて、前記単位構造部材を構成する薄膜は、3層膜であり、該3層膜のうち最上層の膜と最下層の膜とは、同じ材質である構成にすることができる。

【0048】

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

【0049】

すなわち、光反射部材を含むミラー部、該ミラー部を搭載した可動部と、前記光反射部材の角度を維持するために前記ミラー部を構成する部材の一部と接するストッパーとを有し、

前記ストッパーは、薄膜立体構造体であり、

該薄膜立体構造体は、前記可動部上に順に積み重ねられた複数の単位構造部材を有し、

前記単位構造部材は、中空の開口を有する支持部と、前記開口を覆う平面部と、前記支持部の前記中空の開口を充填する充填材とを含み、前記支持部および前記平面部は、それぞれ薄膜によって形成され、

積み重ねられた前記単位構造部材は、上段に位置する前記単位構成部材の前記支持部が、すぐ下の段の前記単位構造部材の前記平面部に搭載された形状であることを特徴とする光スイッチである。

#### 【0050】

上記光スイッチにおいて、上段に位置する前記単位構造部材の前記支持部を構成する前記薄膜と、それを搭載する下の段の前記単位構造部材の前記平面部を構成する前記薄膜とが、固着している構成にすることができる。

#### 【0051】

また、本発明によれば、以下のような光スイッチが提供される。

#### 【0052】

すなわち、基板と、一方の端部が基板に固定された可動部と、前記可動部の他方の端部に搭載されたミラー部とを有し、

前記可動部は、2以上の膜によって構成され、該2以上の膜の内部応力によって湾曲することにより、前記ミラー部を搭載した他方の端部を前記基板上に持ち上げる構成であり、

前記ミラー部は、光反射面が、前記基板の主平面に対して垂直方向を向くように前記可動部に搭載された光反射部材を有し、

該光反射部材は、上端の縁が、前記可動部が前記ミラー部を持ち上げた状態で、前記基板に対して平行になるように、傾斜して前記可動部に搭載されていることを特徴とする光スイッチである。

#### 【0053】

また、本発明によれば、以下のような光学素子が提供される。

#### 【0054】

すなわち、基板と、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記基板上に支持する支持部とを有し、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を

、前記基板の主平面に対して非平行に支持していることを特徴とする光学素子である。

【0055】

また、本発明によれば、以下のような光学装置が提供される。

【0056】

すなわち、光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、1以上の膜からなり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、少なくとも前記固定された前記一方の端部に近い部分は、2以上の膜が積層された積層体からなり、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記可動部には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って段差が形成されていることを特徴とする光学装置である。

【0057】

上記光学装置において、前記段差を形成するために、前記可動部を構成する膜には、前記光学素子を搭載している部分の周縁に沿って凸部が形成されている構成にすることができる。

【0058】

また、本発明によれば、以下のような光学装置が提供される。

【0059】

すなわち、光学素子と、前記光学素子を搭載した可動部と、前記可動部を保持する基板とを有し、

前記可動部は、少なくとも一部が2以上の膜からなる積層体であり、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部側に前記光学素子が搭載され、前記積層体が内部応力によって湾曲することにより前記他方の端部を前記基板から離れた位置に支持する構成であり、

前記積層体は、金属膜を含み、前記金属膜は、予め定められたパターンにパターニングされており、前記パターンは、静電力により前記可動部を駆動するため

の電極として作用する静電力用電極パターンを含むことを特徴とする光学装置である。

#### 【0060】

上記光学装置において、前記金属の膜の前記パターンは、さらに、ローレンツ力により前記可動部を駆動するための電流経路として作用するローレンツ力用電流路パターンを含む構成にすることができる。

#### 【0061】

上記光学装置において、前記静電力用電極パターンおよび前記ローレンツ力用電流路パターンは、それぞれ、前記基板に固定された前記一方の端部を介して、前記基板の電圧印加配線および電流供給配線と接続されている構成にすることができる。

#### 【0062】

上記光学装置において、前記光学素子は、所望の光学特性をもつ光学膜と、前記光学膜を前記可動部上に支持する支持部とを有する構成にすることが可能であり、

前記支持部は、1以上の膜によって構成され、

前記支持部は、一方の端部が前記基板に固定され、他方の端部が、直接または他の部材を介して前記光学膜を構成する膜と接続され、前記支持部は、前記一方の端部から前記他方の端部に向かって湾曲することにより、前記光学膜を構成する膜の主平面を、前記基板の主平面に対して非平行に支持する構成にすることができる。

#### 【0063】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施の形態について図面を用いて説明する。

#### 【0064】

##### （第1の実施の形態）

第1の実施の形態の光スイッチを図1（a）、（b）、図2、図3、図4を用いて説明する。

#### 【0065】

光スイッチは、図 2、図 3、図 4 のように凹部 13 が形成された半導体基板 11 と、可動板 21 と、可動板 21 を前記基板 11 上に支持する 2 本のバネ部 27a、27b とを有する。可動板 21 の上には、ミラー 12 が搭載されている。基板 11 の下部には、ミラー 12 の温度を設定した温度に維持するために、例えばペルチェ素子等の温度調節素子（不図示）が配置されている。

#### 【0066】

ミラー 12 は、図 1 に示したように、反射部 101 と、これを可動板 21 上に支持する支持部 102 とにより構成されている。反射部 101 は Al 膜からなる。反射部 101 の Al 膜の外縁部は、剛性を出すために段差が形成され、縁 101a を形成している。支持部 102 は、窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b とを積層した膜からなり、可動板 21 側に窒化シリコン膜 102a が位置している。支持部 102 の先端の接続部 102d には、反射部 101 が固定され、他端は凸型に屈曲されて脚部 102c を構成している。脚部 102c は可動板 21 に固定されている。

#### 【0067】

支持部 102 は、窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の熱膨張係数の差異によって生じる応力ならびに成膜時に生じた応力により、脚部 102c から先端の接続部 102d まで円弧状に湾曲し、反射部 101 の主平面を可動板 21 の主平面に対して所望の角度、本実施の形態では垂直に支持している。支持部 102 の膜構造の場合、温度が高温になると湾曲の曲率半径が大きくなり、温度が低温になると湾曲の曲率半径が小さくなる性質を有する。また、支持部 102 の湾曲の曲率半径は、窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の膜厚等に依存する。よって、支持部 102 は、温度調節素子（不図示）によって維持される温度において、反射部 101 の主平面を可動板 21 の主平面に対して垂直に支持する湾曲状態となるように、支持部 102 の窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の膜厚等、および、脚部 102c から先端の接続部 102d までの長さは、予め設計されている。

#### 【0068】

一方、可動板 21 は、図 3 のように積層された 2 層の絶縁膜 22、26 と、そ



れらの間に配置された電極膜 23 a とにより構成されている。2 層の絶縁膜 22、26 としては、例えば窒化シリコン膜または酸化シリコン膜を用いることができる。電極膜 23 a は、A1 膜等の金属膜により構成される。バネ部 27 a、27 b は、上記絶縁膜 22、26 を図 2 のように曲がりくねった形状にパターンニングすることによりバネ性を持たせている。よって、可動板 21 は、図 2、図 3、図 4 の Z 軸方向に移動可能である。なお、バネ部 27 b には、絶縁膜 22、26 の間に、配線 23 b が配置されている。配線 23 b は、一端が電極膜 23 a に接続され、他端は外部の電源と接続するために基板 11 の上面側または下面側に引き出されている。

#### 【0069】

よって、本実施の形態の光スイッチは、配線 23 b を外部電源に接続して、図 6 に示すように可動板 21 の電極膜 23 a と、半導体基板 11 との間に電圧 V を印加すると、電極膜 23 a と半導体基板 11 とが静電力によって引き合い、可動板 21 は、図 5 のように半導体基板 11 の凹部 13 の底面に引きつけられる。また、電圧 V を印加していない状態では、可動板 21 は、バネ部 27 a、27 b が伸縮する力により、基板 11 の上面位置に保持される。これにより、電極膜 23 a と半導体基板 11 との間に電圧 V を印加するか否かにより、図 6 のように、可動板 21 の位置を基板 11 の上面位置（上側位置）または凹部 13 の底面位置（下側位置）に切り換えて配置することができる。これに伴い、可動板 21 に搭載されているミラー 12 も上側位置または下側位置に配置される。

#### 【0070】

よって、本実施の形態の光スイッチを使用する場合には、図 3 のように、可動板 21 が上側位置にあるときのミラー 12 の反射部 101 と交差する位置に光路 130 を設定する。これにより、電極膜 23 b と基板 11 との間に電圧 V を印加していない場合には、可動板 21 が上側位置にあるため、光路 130 中にミラー 12 が挿入された状態となり、x 方向から入射した入射光はミラー 12 により反射されて y 方向に偏向される。一方、電圧 V を印加した場合には、図 5 のように可動板 21 が下側位置に移動するため、ミラー 12 は光路 130 からはずれ、入射光はミラー 12 の上を通過し、そのまま直進する。このように、本実施の形態

の光スイッチは、電極膜 23 a と基板 11 との間に電圧 V を印加するかどうかにより、入射光の進行方向を切り換えることができる。

#### 【0071】

本実施の形態の光スイッチは、ミラー 12 として、A1 膜からなる反射部 101 を支持部 102 によって垂直に支持しているため、A1 膜の膜面を反射面とすることができ、反射率が高い。また、支持部 102 は、温度を制御することにより、反射部 101 を垂直に維持することができるため、入射光の反射方向を精度良く定めることができる。

#### 【0072】

以下、本実施の形態の光スイッチの製造方法を図 7 (a), (b)、図 8 (c) ~ (g)、図 9 (h) を用いて説明する。

#### 【0073】

図 7 (a) のように半導体基板 11 として、シリコン基板を用意し、必要に応じて駆動回路や配線等を予め形成しておく。この基板 11 の表面に SiO<sub>2</sub> 膜 32 を成膜する。SiO<sub>2</sub> 膜 32 には、基板 11 とバネ部 27 a, 27 b とが接続される部分に開口を設けておく。SiO<sub>2</sub> 膜 32 上に、可動板 21 とバネ部 27 a, 27 b を構成する絶縁膜 22 を成膜し、その上に電極膜 23 a および配線 23 b となる A1 膜を成膜する。その後、A1 膜を電極膜 23 a および配線 23 b の形状にフォトリソグラフィーの手法によりパターンニングする。さらに、この上に、絶縁膜 26 を成膜し、絶縁膜 22、26 をフォトリソグラフィーの手法により、可動板 21 およびバネ部 27 a, 27 b の形状にパターンニングする（図 7 (a) 参照）。つぎに、図 7 (b) のように SiO<sub>2</sub> 膜 32 にエッチングホール 32 a を形成する。このエッチングホール 32 a は、後の工程で基板 11 に凹部 13 を形成する際に、エッチング液を基板 11 まで到達させるために用いられる。

#### 【0074】

上記工程により形成された可動板 21 の上に、ミラー 12 を形成する。この工程を図 8 (c) ~ (g) を用いて説明する。図 8 (c) ~ (g) は、可動板 21 の上面部を拡大して示している。まず、可動板 21 の上に、厚さ 1.5  $\mu$ m のレジスト層 81 を形成する。レジスト層 81 に、支持部 102 の脚部 102 c と

る位置に、フォトリソグラフィーの手法により開口 81a を設ける（図 8（c））。つぎに、レジスト層 81 上に、再び厚さ  $1.5\ \mu\text{m}$  のレジスト層 82 を形成し、フォトリソグラフィーの手法により、ミラー 12 の反射部 101 の位置を残して除去し、レジスト層 82 のアイランドを形成する（図 8（d））。これらレジスト層 81、82 は、最終的には除去される層（犠牲層）である。

#### 【0075】

レジスト層 81、82 の上に厚さ 5000 オングストロームの Al 膜を蒸着し、フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、ミラー 12 の反射部 101 の形状にパターニングする（図 8（e））。反射部 101 の Al 膜の下には、レジスト層 82 のアイランドが形成されているため、アイランドの縁で反射部 101 の Al 膜に段差が形成され、反射部 101 の縁 101a が形成される。さらに、全面に窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b を蒸着により成膜し、フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、支持部 102 の形状にパターニングする。窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の厚さは、いずれも 2000 オングストロームである。支持部 102 の窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b のうち、開口 81a の内部に形成された部分は、脚部 102c を構成する。また、支持部 102 の先端の接続部 102d は、反射部 101 の Al 膜に積層されたことにより、反射部 101 と接続される。

#### 【0076】

つぎに、KOH 溶液をエッチングホール 32a を介して基板 11 に注入し、基板 11 をエッチングし、凹部 13 を形成する（図 9（h））。この後、残存している SiO<sub>2</sub> 膜 32 を除去する。これにより、可動板 21 は、図 3、図 4 のようにバネ部 27a、27b により凹部 13 の上部に支持された状態となる。ただし、この状態では、ミラー 12 は、まだ立ち上がっていないため、犠牲層であるレジスト層 81、82 をアッシングにより除去する。これにより、図 1（a）に示したようにミラー 12 は、脚部 102c のみで可動板 21 に固定される構造となり、支持部 102 は、窒化シリコン膜 102a と Al 膜 102b の成膜時の応力、ならびに、熱膨張係数の差異により生じる応力により湾曲して立ち上がり、反射部 101 を支持する。

**【0077】**

よって、温度調節素子（不図示）により、支持部102の温度を予め定めた温度に調節することにより、支持部102は、図1（a）のように、反射部101の主平面（反射面）を可動板21の主平面に対して垂直に支持する位置まで湾曲する。これにより、可動板21の上にミラー12の反射面が垂直に支持された光スイッチを得ることができる。

**【0078】**

上述してきたように、本実施の形態のミラー12は、製造時には可動板21の主平面に平行に形成された反射部101の主平面を、支持部102が湾曲することにより90度持ち上げる構成であるため、反射部101の反射面は、反射部101を構成するA1膜の成膜時の上面または下面である。このため、反射面を滑らかに形成でき、反射部101の反射率として、高反射率をえることができる。また、反射部101の反射面の向きは、温度調節により、可動板21に主平面に対して垂直にすることができる。よって、本実施の形態のミラー12を備えた光スイッチは、入射光を、高い反射率で所望の方向に偏向することが可能である。

**【0079】**

なお、反射部101の反射面としては、成膜時の上面側および下面側の両面を用いることができるが、図1（a）のように、成膜時のA1膜の下面側（可動板21側の面）を反射面として用いた場合に、より高い反射率を得ることができる。というのは、反射部101を構成するA1膜には、成膜後のフォトリソグラフィ等におけるベーク工程や乾燥工程により、加熱されて表面に微細な凹凸が生じることがある。また、現像液や犠牲層のアッシング工程等により条件によっては、A1膜の表面が荒れることがある。このため、このような微細な凹凸や表面の荒れが生じないA1膜の下面側を反射面として用いることにより、より高反射率を得ることが可能である。

**【0080】**

また、上述の第1の実施の形態では、ペルチェ素子等の温度調節素子を用いて、ミラー12の支持部102の温度を制御し、反射部101の反射面を可動板21の主平面に垂直、もしくは所望の角度に維持する構成であるが、温度調節素子

の代わりに、ミラー 12 に光を照射して温度を調節し、支持部 102 の湾曲を制御することも可能である。この場合、光スイッチとしてスイッチングすべき入射光が反射部 101 に入射する面とは、逆側の面に温度調節のための光を反射部 101 に入射させるか、もしくは、支持部 102 に直接温度調節のための光を照射することにより、支持部 102 の温度を制御することができる。この場合、温度調節のための光の強度を制御することにより、反射部 102 の反射面の可動板 21 の主平面に対する角度を変化させることができるため、これにより、スイッチングする光を反射する方向を変えることも可能である。

#### 【0081】

(第 2 の実施の形態)

つぎに、第 2 の実施の形態の光スイッチを図 10 (a), (b) を用いて説明する。

#### 【0082】

第 2 の実施の形態の光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチのミラー 12 に代えて、図 10 (a), (b) のミラー 112 を可動板 21 に搭載したものである。ミラー 112 以外の光スイッチの構成は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

#### 【0083】

第 2 の実施の形態のミラー 112 は、第 1 の実施の形態のミラー 12 と同様に、反射部 101 を、湾曲した支持部 102 によって支持するという構成であるが、図 10 (a) に示すように、反射部 101 の主平面方向形状を左右に張り出した形状とし、3 本の支持部 102 によって支持している。反射部 101 の膜構造、および、支持部 102 の膜構造は、第 1 の実施の形態と同じである。

#### 【0084】

また、3 本の支持部 102 の間に、2 本のストップ部 91, 92 を配置している。ストップ部 91, 92 は、支持部 102 と同じ膜構造であり、支持部 102 と同様に湾曲して立ち上がっている。ストップ部 91, 92 の膜の膜面は、反射部 101 に対して垂直に向けられている。このため、ストップ部 91 の側面 91a とストップ部 92 の側面は、反射部 101 の片側の面と接し、反射部 101 が

、支持部 102 の湾曲によって図 10 (a) の点線で示した位置 101e に向かうのを押し戻している。

#### 【0085】

第 1 の実施の形態で説明したように、2 層構造の支持部 102 は、温度によって湾曲の曲率半径が変化するため、第 1 の実施の形態のミラー 12 で一定の湾曲状態を維持するためには、温度調節が必要であった。第 2 の実施の形態のミラー 112 は、室温近傍で支持部 102 の湾曲の曲率半径が、反射部 101 を可動板 21 の主平面に対して垂直に支持する曲率半径よりも小さくなるように、すなわち図 10 (a) の点線の位置 101e に示したように反射部 101 が 90 度以上の角度に傾むくように、支持部 102 の長さおよび膜厚を定めておき、ストップ部 91 の側面 91a およびストップ部 92 の側面 (図 10 (a) では不図示) によって反射部 101 を垂直な位置まで押し戻すようにしている。これにより、温度調節素子を用いることなく、反射部 101 を垂直に維持することができる。なお、ストップ部 91, 92 の湾曲状態も温度によって変化するが、反射部 101 と接している側面 91a 等の位置は製造時の位置から変化しないため、温度変化があっても、常に反射部 101 を垂直に維持できる。

#### 【0086】

ストップ部 91, 92 の側面 91a 等の位置は、製造時のフォトリソグラフィの工程により、反射部 101 に対して精度良く位置合わせすることができるため、第 2 の実施の形態のミラー 112 は、反射部 101 の主平面を、可動板 21 の主平面に対して精度良く垂直に支持することができる。

#### 【0087】

なお、ストップ部 91, 92 の先端部には、剛性を高めるために、膜に段差をつけることにより形成した凸部 91d, 92d が配置されている。

#### 【0088】

第 2 の実施の形態のミラー 112 の製造手順は、第 1 の実施の形態のミラー 12 とほぼ同じであるが、反射部 101 となる A1 膜のパターニング時、ならびに、支持部 102 の窒化シリコン膜 102a と A1 膜 102b のパターニング時に、それぞれ図 11 に示したような形状にパターニングを行う。また、支持部 10

2をパターンニングする際に、同時に、同じ窒化シリコン膜102aおよびA1膜102bを、図11のストップ部91、92の形状にパターンニングする。ただし、犠牲層のレジスト膜82をアイランド状に加工する際に、ストップ部91、92の凸部91d、92dを形成すべき部分にもアイランドを残すようにする。これにより、犠牲層のレジスト膜81、82をアッシングにより除去することにより、支持部102が湾曲して立ち上がるのと同時に、ストップ部91、92も湾曲して立ち上がって、図10(a)、(b)の形状となり、反射部101を可動板21の主平面に対して垂直に支持する構造となる。

#### 【0089】

本実施の形態のミラー112を搭載した光スイッチは、温度調節装置を用いることなく、反射率の高い反射部101を可動板21に対して垂直に精度良く保持でき、光を所望の方向に精度良く反射することができる。

#### 【0090】

なお、本実施の形態のミラー112を搭載した光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチと同じように温度調節装置を用いても良い。温度調節装置を用いた場合には、温度変化によってストップ部が変形しないため、ストップ部の変形により反射部101に擦り傷を生じさせる恐れがないという効果が得られる。

#### 【0091】

(第3の実施の形態)

つぎに、第3の実施の形態の光スイッチを図12を用いて説明する。

#### 【0092】

第3の実施の形態の光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチのミラー12に代えて、図12のミラー113を可動板21に搭載したものである。ミラー113以外の光スイッチの構成は、第1の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

#### 【0093】

第3の実施の形態のミラー113は、第2の実施の形態のミラー112と同様の構造であるが、反射部101を挟んでストップ部91、92と向かい合う位置に、さらにストップ部93、94を配置している点がミラー112とは異なっている。

いる（ストップ部 94 は、図 12 では不図示）。犠牲層のレジスト層 81、82 の除去前の反射部 101、ストップ部 91、92、93、94 の形状を図 13 に示す。犠牲層のレジスト層 81、82 除去後のストップ部 93、94 は、ストップ部 91、92 と同様に、ストップ部 93 の反射部 101 側の側面 93 およびストップ部 94 の反射部 101 側の側面がそれぞれ反射部 101 と接し、反射部 101 を支持する。よって、反射部 101 は、両側からストップ部 91、92、93、94 で支えられているため、何らかの要因で外部から反射部 101 を倒す方向に力が加わった場合にも、ストップ部 91、92、93、94 が支え、反射部 101 を可動板 21 に対して垂直に保つことができる。このため、外部からの力に対して強度の大きなミラー 113 を提供することができる。

#### 【0094】

第 3 の実施の形態のミラー 113 を製造する手順について図 13、図 14（a）～（e）を用いて説明する。ミラー 113 の製造手順は、第 1 および第 2 の実施の形態のミラー 12、112 とほぼ同様であるが、支持部 102 およびストップ部 91、92、93、94 のパターンニングの後で反射部 101 を形成するという手順をとる。

#### 【0095】

まず、可動板 21 の上に、レジスト層 81 を形成し、支持部 102 の脚部 102c、ならびに、ストップ部 91、92、93、94 の脚部 91c、92c、93c、94c を形成するべき位置に、開口 81a をフォトリソグラフィーにより形成する（図 14（a））。つぎに、ストップ部 91、92、93、94 の先端の凸部 91d、92d、93d、94d を形成すべき位置に、レジストアイランド（不図示）を形成する。全面に、窒化シリコン膜 102a および Al 膜 102b を順に成膜し、フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、図 13 に示した支持部 102、および、ストップ部 91、92、93、94 の形状にパターンニングする。つぎに、全面にレジスト層 141 を形成し、支持部 102 の接続部 102d となる位置に開口 141a を形成する（図 14（c））。この上にさらに、レジスト層 82 を形成し、反射部 101 の縁 101a の内側形状部分を残して除去し、レジストアイランドを形成する。レジスト層 82 の支持部 102 の接



続部 102d となる位置に開口 82a を形成する (図 14 (d))。全面に、A 1 膜 101 を形成し、フォトリソグラフィーとエッチングの手法により、反射部 101 の形状にパターニングする (図 14 (d) および図 13)。最後に、アッシングにより、犠牲層のレジスト層 81, 141, 82 を除去する。これにより、支持部 102 およびストップ部 91, 92, 93, 94 が立ち上がり、図 12 のミラー 113 を製造することができる。

#### 【0096】

(第 4 の実施の形態)

つぎに、第 4 の実施の形態の光スイッチを図 15 (a) を用いて説明する。

#### 【0097】

第 4 の実施の形態の光スイッチは、第 1 の実施の形態の光スイッチのミラー 12 に代えて、図 15 (a) のミラー 116 を可動板 21 に搭載したものである。ミラー 116 以外の光スイッチの構成は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

#### 【0098】

第 4 の実施の形態のミラー 116 は、2 枚のミラー 114, 115 を 2 枚重ね合わせて立脚させた構成である。2 枚のミラー 114, 115 それぞれ、反射部 101 を 2 本の支持部 102 によって支持した構成である。ただし、図 15 (b) に示すように、製造時のパターニングの際に、ミラー 114 は、反射部 101 の反射面が凹面となるように縁 101a の段差を形成しているのに対し、ミラー 115 は、反射部 101 の反射面が凸面となるように縁 101a の段差を形成している。また、ミラー 114, 115 の支持部 102 は、いずれも、反射部 101 を室温で 90 度以上の角度に傾斜して支持する状態に湾曲するように、膜厚および長さが設計されている。したがって、犠牲層のレジスト層 81 等を除去すると、2 枚のミラー 114, 115 は、支持部 102 の湾曲により、いずれも 90 度以上の角度まで傾斜しようとするため、お互いに 90 度の角度に達した位置でぶつかり、傾斜しようとする力がバランスすることにより、2 枚の反射部 101 が可動板 21 に対して垂直な状態で平衡状態となる。このとき、ミラー 114, 115 の反射部 101 の凹凸形状が互いに噛み合わさってミラー 114, 115

が密着した状態ではずれにくくなる。

#### 【0099】

このように、第4の実施の形態のミラー116は、支持部102の湾曲する力のバランスによって、反射部101の主平面が可動板21に対して垂直に保持された、ミラー116を提供することができる。

#### 【0100】

なお、第4の実施の形態のミラーは、ミラー114、115が、互いに噛み合う凹凸形状の反射部101を有しているが、この形状に限らず反射部101の凸形状をいずれか一方のミラーのみが備え、他方は、縁101aのみで、中央部は開口とした形状にすることも可能である。また、ミラー114、115の反射部101は、噛み合う形状でなくてもよく、両方の反射部101を平面にすることも可能である。

#### 【0101】

(第5の実施の形態)

つぎに、第5の実施の形態の光スイッチを図16を用いて説明する。

#### 【0102】

第5の実施の形態の光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチのミラー12に代えて、図16のミラー117を可動板21に搭載したものである。ミラー117以外の光スイッチの構成は、第1の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

#### 【0103】

第5の実施の形態のミラー117は、反射部101を2本の支持部102から下向き（可動板21側）につり下げた形状である。この構造では、反射部102の可動板21からの高さが低く、可動板21が移動した場合にも反射部102が振動しにくいという利点がある。ミラー117の製造手順は、第1の実施の形態のミラー12と同様であるが、反射部101および支持部102をパターンニングする際に、図17に示したような形状にパターンニングすることにより製造することができる。

#### 【0104】

なお、本実施の形態の光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチと同様に温度調節装置を用いることが好ましい。

#### 【0105】

(第6の実施の形態)

つぎに、第6の実施の形態の光スイッチを図18(a), (b)を用いて説明する。

#### 【0106】

第6の実施の形態の光スイッチは、第1の実施の形態の光スイッチのミラー12に代えて、図18(a), (b)のミラー118を可動板21に搭載したものである。ミラー118以外の光スイッチの構成は、第1の実施の形態と同じであるので説明を省略する。

#### 【0107】

第6の実施の形態のミラー118は、図18(a), (b)に示したように、2本の支持部102に、それぞれ接続部104を介してさらに支持部103を接続し、2本の支持部103が反射部支持部105を支持している。反射部支持部105には、反射部101が搭載されている。よって、反射部101は、反射部支持部105により、下側から支えられた構造となる。支持部103は、支持部102と同様に、Al膜103aと窒化シリコン膜103bとを積層した構造であるが、湾曲の向きが支持部102の湾曲の方向とは逆に、上向きに凸となるように、Al膜103aと窒化シリコン膜103bの積層の順が支持部102とは逆になっている。

#### 【0108】

ミラー118の構成は、第5の実施の形態のミラー117(図16)の構成と似ているが、反射部101が下から支えられている点と、反射部101が支持部102の脚部102cの近い位置に配置される点が異なる。このため、ミラー118は、反射部101が振動しにくいという特徴がある。なお、ミラー118の反射部101は、製造時に可動板21側を向いていた側の面の方が鏡面度が高く、反射率が高くなる傾向がある。よって、製造時に可動板21側を向いていた面を光反射面として用いることが好ましいため、図18(a)に示した方向から光

が入射するように、ミラー 118 を可動板 21 に搭載することが望ましい。

#### 【0109】

本実施の形態のミラー 118 の製造工程を図 20 (a) ~ (c)、図 21 (d) ~ (f) を用いて説明する。支持部 102、103、接続部 104、反射部支持部 105、反射部 101 は、図 19 のような配置および形状にパターンニングされる。図 20 (a) ~ (c) および図 21 (d) ~ (f) は、図 19 の H-H 断面における製造工程を示している。なお、本実施の形態では、支持部 102 の窒化シリコン膜 102a と、支持部 103 の窒化シリコン膜 103b と、接続部 104 と、反射部支持部 105 とが、一層の窒化シリコン膜をパターンニングすることにより同時に形成される。

#### 【0110】

まず、可動板 21 の上に、レジスト層 81 を形成し、支持部 102 の脚部 102c を形成すべき位置に、開口 81a をフォトリソグラフィーにより形成する (図 20 (a))。つぎに、接続部 104 ならびに反射部支持部 105 を形成すべき位置に、レジストアイランド 201 を形成する (図 20 (b))。つぎに、支持部 103 の Al 膜 103a を成膜し、フォトリソグラフィとエッチングの手法により図 19 の支持部 103 の形状にパターンニングする (図 20 (c))。つぎに、窒化シリコン膜と Al 膜 102b を順に成膜する (図 21 (d))。成膜した Al 膜 102b を図 19 の支持部 102 の形状にパターンニングした後、窒化シリコン膜を、支持部 102、接続部 104、支持部 103、反射部支持部 105 の形状にパターンニングする (図 21 (e))。これにより、支持部 103 の窒化シリコン膜 103b と、接続部 104 と、反射部支持部 105 とが一度に形成される。

#### 【0111】

全面にレジスト層 141 を形成し、反射部支持部 105 の接続部 105b となる位置に開口を形成し、この上にさらに、レジスト層 82 を形成し、反射部 101 の縁 101a の内側形状部分を残して除去し、レジストアイランドを形成する。レジスト層 82 の反射部支持部 105 の接続部 105b となる位置に開口を形成した後、全面に Al 膜 101 を成膜して、反射部 101 の形状にパターンニング

する(図21(f))。最後に、アッシングにより、犠牲層のレジスト層81, 141, 82を除去する。これにより、支持部102および支持部103が湾曲して立ち上がり、図18(a), (b)のミラー118を製造することができる。

#### 【0112】

(第7の実施の形態)

つぎに、第7の実施の形態として、上述の第1～第6の実施の形態の光スイッチを用いた光スイッチング装置1について図22を用いて説明する。

#### 【0113】

図22の光スイッチング装置は、第1の実施の形態の光スイッチを基板11上に縦横に配列した構成であり、基板11の下部には温度調整装置222としてペルチェ素子が配置されている。基板11の一辺には、スイッチングすべき光を出射する光ファイバ2が並べて配置され、出射された光の光路上には、それぞれ光スイッチのミラー12が位置するように、位置合わせされている。また、基板11の一辺には、ミラー12で反射された光が入射する位置に光ファイバ4が並べて配置されている。また、光ファイバ2と、基板11を挟んで向かい合う位置には、光ファイバから出射された光がミラー12を通過した場合に入射する位置に光ファイバ3が配置されている。

#### 【0114】

また、本実施の形態の光スイッチング装置1は、各光スイッチの電極23aと基板11間に印加する電圧を制御する制御回路6を有している。

#### 【0115】

よって、本実施の形態の光スイッチング装置1では、制御回路6が光スイッチの電極23aと基板11との間に電圧Vを印加した場合には、図6に示したように、可動板21が凹部13の底部に位置するため、ミラー12も凹部13内に引き込まれ、光ファイバ2から出射された光束はミラー12の上を通過して、光ファイバ3に入射し、光ファイバ3を伝搬する。一方、制御回路6が光スイッチの電極23aと基板11との間に電圧Vを印加していない場合には、可動板21は、基板11の上面位置に位置するため、ミラー12は基板11上に突出して光路

中に挿入された状態となる。よって、光ファイバ2から出射された光束は、ミラー12で反射され、光ファイバ4に入射して光ファイバ4を伝搬する。

#### 【0116】

よって、光スイッチング装置1を構成する各光スイッチごとに、制御回路6が電圧Vを印加するかどうかを制御することにより、3本の光ファイバ2から出射された光を、それぞれ独立にスイッチングして、光ファイバ4または光ファイバ3に入射させることができる。

#### 【0117】

また、図22では、第1の実施の形態のミラー12を用いた光スイッチにより、光スイッチング装置1を構成した例について説明したが、同様に第2～第6の実施の形態の光スイッチにより、光スイッチング装置1を構成することができる。なお、第2～第4、第6の実施の形態の光スイッチを用いる場合、温度調節装置222を備えない構成にすることができる。

#### 【0118】

図22の光スイッチング装置1は、第1～第6の実施の形態の光スイッチを用いるため、ミラーの反射部101の反射率が高く、しかも、ミラーの反射部101の反射面を基板11の主平面に対して精度良く垂直に維持することができる。これにより、光スイッチング装置1は、高反射率で光を反射して、光ファイバ2または光ファイバ4の端面に精度良く入射させることができるため、光損失が少ない。

#### 【0119】

(第8の実施の形態)

つぎに、上述の第1～第6の実施の形態のミラーを用いた別の構成の光スイッチについて説明する。

#### 【0120】

本実施の形態の光スイッチは、図23のように基板230上に可動板231を配置し、可動板231の上に、第1～第6の実施の形態のいずれかのミラーを搭載した構成である。ここでは、第2の実施の形態のミラー112を搭載した例を図示している。可動板231は、第1～第6の実施の形態の支持部102と同様

に、窒化シリコン膜と A1 膜との 2 層膜で構成され、一方の端部に設けられた脚部 231a により基板 230 に接続されている。また、基板 230 には、図示していないが、内部に電極が形成され、表面は絶縁膜で覆われている。よって、可動板 231 の A1 膜と、基板 230 内部の電極との間に電圧を印加することにより、可動板 231 は静電力により基板 230 に引き寄せられ、図 25 (a) のように基板 230 に密着する。一方、可動板 231 の A1 膜と基板 230 の内部の電極との間に電圧を印加していない状態では、可動板 231 は、窒化シリコン膜と A1 膜の応力により図 25 (b) のように湾曲する。

#### 【0121】

また、本実施の形態の光スイッチは、図 24 のように、切り換えるべき光を伝搬する 4 本の光導波路 241, 242, 243, 244 が設けられた光導波路基板 240 を有している。光導波路基板 240 は、中央部に幅数十  $\mu\text{m}$  程度の溝 246 が備えられ、溝 246 の側面に光導波路 241, 242, 243, 244 の端面 241a, 242a, 243b, 244b が露出されている。端面 241a と端面 242a との間隔、ならびに、端面 243b と端面 244b との間隔は、図 25 (a)、(b) に示したようにミラー 112 の反射部 101 で覆うことのできる間隔に設計されている。

#### 【0122】

図 25 (a), (b) に示すように、可動板 231 の基板 230 上に、スペーサー 251 を介して、光導波路基板 240 を搭載することにより、光スイッチが構成される。このとき、溝 246 に、ミラー 112 の反射部 101 が挿入されるように、基板 230 と位置合わせして光導波路基板 240 を搭載する。

#### 【0123】

これにより、可動板 231 の A1 膜と基板 230 内部の電極との間に電圧を印加している状態では、図 25 (a) のように可動板 231 が静電力により基板 230 に引き寄せられ、ミラー 112 の反射部 101 は、光導波路 243、244 の端面 243b, 244b より下側に位置する。よって、例えば、光導波路 243 の端面 243a から光を入射した場合、光導波路 243 を伝搬した光は、端面 243b から出射され、そのまま対向する光導波路 242 の端面 242a に入射

し、光導波路 242 を伝搬して端面 242b から出射される。また、例えば、光導波路 241 の端面 241b から光を入射した場合、光導波路 241 を伝搬した光は、端面 241a から出射され、そのまま対向する光導波路 244 の端面 244b に入射し、光導波路 244 を伝搬して端面 244a から出射される。

#### 【0124】

一方、可動板 231 の A1 膜と基板 230 内部の電極との間に電圧を印加していない状態では、図 25 (b) のように可動板 231 が、窒化シリコン膜と A1 膜の応力により湾曲し、ミラー 112 の反射板 101 は、光導波路 243、244 の端面 243b、244b を覆うように位置する。よって、例えば、光導波路 243 の端面 243a から光を入射した場合、光導波路 243 を伝搬した光は、端面 243b から出射され、ミラー 112 の反射部 101 で反射されて、光導波路 244 の端面 244b に入射し、光導波路 244 を伝搬して端面 244a から出射される。また、例えば、光導波路 241 の端面 241b から光を入射した場合、光導波路 241 を伝搬した光は、端面 241a から出射され、ミラー 112 の反射部 101 で反射され、光導波路 242 の端面 242a に入射し、光導波路 242 を伝搬して端面 242b から出射される。

#### 【0125】

また、図 25 (b) のように可動板 231 が上側に位置するときには、ミラー 112 のストップ部 91、92 が手前に張り出しているため、ストップ部 92 の上端 92a が光導波路基板 240 の下面 240a に接触し、ミラー 112 の反射部 101 が図 25 (b) の位置以上に溝 246 に入り込まないように阻止するストッパーの役目を果たす。これにより、ミラー 112 の反射部 101 の上端が、溝 246 の上面 246a にぶつかることがないため、反射部 101 が変形する恐れがない。よって、反射部 101 の反射面を基板 230、240 の主平面に垂直に維持することができ、精度良く所望の方向に光を反射できる。

#### 【0126】

なお、本実施の形態の光スイッチの構成としては、ミラー 112 に代えて、第 1 の実施の形態のミラー 12 や、第 3 ～ 第 6 の実施の形態のミラー 113、116、117、118 を用いることができる。



## 【0127】

上述してきたように、第1～第8の実施の形態の光スイッチは、ミラーの反射部101として、薄膜を支持部102で垂直に持ち上げた構成であるため、反射部101の反射面として、薄膜の主平面を用いることができる。よって、反射面を容易に滑らかに形成できるため、高い反射率を得ることができる。また、支持部102を、2層の薄膜を積層した構造としているため、反射部101、支持部102をいずれも薄膜製造プロセスにより製造することができ、製造が容易であるという利点も得られる。しかも、支持部102および反射部101を立ち上がらせるための犠牲層として、本実施の形態では感光性樹脂のレジスト膜を用いているため、無機の酸化膜や窒化膜を用いる場合と比較して、犠牲層の除去を特別な装置を用いることなく、アッシング工程により容易に行うことができる。このため、ミラーの製造をより容易に行うことができる。

## 【0128】

また、上述の各実施の形態では、ミラーを搭載する可動板21、231の駆動を静電力により行っているが、可動板21、231の駆動方法は、静電力に限らず、他の手法により行うことが可能である。例えば、ローレンツ力を利用することができる。

## 【0129】

また、上述の各実施の形態では、反射部101をA1膜により形成しているが、Au等他の材料を用いることももちろん可能である。また、支持部102の膜構成も、本実施の形態のA1膜と窒化シリコン膜の構成に限られるものではなく、必要な湾曲状態が得られる構成であれば、他の材料の膜や、3層以上の膜構成にすることができる。

(第9の実施の形態)

第9の実施の形態の光スイッチを図26、図36～図40等を用いて説明する。

## 【0130】

本実施の形態の光スイッチは、図40(a)、(b)に示したように、第6の実施の形態の図18(a)、(b)のミラー118を可動板231上に搭載した

第8の実施の形態と同様の光スイッチであるが、以下の3つの点で第8の実施の形態とは異なっている。第1に、可動板231は、静電力とローレンツ力とを用いて駆動されるように構成されている。第2に、可動板231には、図39に示したようにミラー118を搭載している部分を取り囲むように、凸部364が設けられている。このように凸部364を設けることにより、可動板231のミラー118を搭載している部分の湾曲を抑制し、平面を維持する。第3に、本実施の形態の光スイッチは、可動板231の上に、図26のように2つの薄膜立体構造体5をストッパーとして搭載し、ミラー118の反射部101の向きを一定に保つ構成となっている。

#### 【0131】

まず、可動板231の構成について説明する。上述した第8の実施の形態では、可動板231は、窒化シリコン膜とA1膜の2層構造であったが、本実施の形態では、可動板231は、図36(b)に示したように、窒化シリコン膜361とA1膜362と窒化シリコン膜363とを順に積層した3層膜からなる。可動板231は、窒化シリコン膜361、363とA1膜362との熱膨張係数の差によって生じる内部応力、ならびに、成膜時に生じた内部応力により、常温で基板230に対して上向きに湾曲するように、予め定められた膜厚および成膜条件によって形成されている。

#### 【0132】

可動板231は、図39に示したようにミラー118を搭載するための長方形のミラー搭載板231bと、ミラー搭載板231bの端部に接続された2本の帯状の支持板231cとを含む。支持板231cは、それぞれの端部に脚部231aおよび脚部231dを有している。脚部231aおよび231dは、いずれも基板230に固定されており、可動板231は、脚部231a、231dを固定端として、第8の実施の形態の光スイッチと同様に、図40(b)のようにミラー搭載板231b側が持ち上がり、ミラー118を光導波路基板240の溝246に挿入することができる。

#### 【0133】

本実施の形態では、図36(a)のように可動板231のミラー118を搭載

している部分を取り囲むように、凸部 364 を設けている。凸部 364 は、図 36 (b) に示したように、可動板 231 を構成する 3 層膜を凸型にすることにより形成されている。この凸部 364 は、可動板 231 の支持板 231c の一部の領域にも設けられている。このように凸部 364 を設けることにより、可動板 231 の縁に段差が生じるため、可動板 231 のうち、凸部 364 で囲まれた領域および凸部が設けられた領域は、内部応力による湾曲が抑制され、平面性を維持することができる。このため、可動板 231 は、図 40 (b) のように内部応力による湾曲によりミラー 118 上側の位置に持ち上げた状態であっても、ミラー 118 を搭載している部分は平面であるため、搭載されているミラー 118 の形状を一定に保つことができる。これにより、ミラー 118 の反射部 101 の向きを精度良く一定に維持することができる。

#### 【0134】

また、凸部 364 の一部 364a、364b は、図 36 (a) に示したように、可動板 231 のうちミラー搭載板 231b の中央部に向かって延びている。これにより、凸部 364 で囲まれたミラー搭載板 231 の中央部の面積が大きい場合であっても、中央部の領域の平面性を維持することができる。また、凸部 364 の一部 364b は、後述する垂直構造体 5 の 1 段目を兼用する。

#### 【0135】

このように、可動板 231 は、凸部 364 が設けられている領域は湾曲が抑制されるが、支持板 231c の脚部 231d に近い領域は、凸部 364 が設けられていない。これにより、凸部 364 が設けられていない支持板 231c の領域の湾曲によって、可動板 231 は、脚部 231a、231d を固定端として、図 40 (b) のように、ミラー搭載板 231b 側が持ち上がり、ミラー 118 を光導波路基板 240 の溝 246 に挿入することができる。このように、ミラー搭載板 231b のように平面性を維持したい部分のみに凸部 364 を設けることにより、湾曲を利用して可動板 231 を可動な構成にしながら、必要な部分を平面にすることができる。

#### 【0136】

つぎに、可動板 231 の A1 膜 362 の形状について、図 37 を用いて説明す

る。本実施の形態では図37に示したような形状に、A1膜362をパターンニングしている。ただし、図37は、可動板261を上面から見た場合のA1膜362の形状を示しており、見やすくするためにA1膜362の部分にハッチングを付している。

#### 【0137】

A1膜362のうちパターン362aは、2つの脚部231dのうちの一方から、可動板231の外周の縁に沿って延びて可動板231の先端まで到達した後、反対側の可動板231の縁に沿って他方の脚部231dに達するパターンである。このパターン362aは、ローレンツ力により可動板231を駆動する際に、ローレンツ力を生じさせるための電流を流す配線として用いられる。パターン362aは、脚部231dにおいて基板230に設けられた配線と接続され、脚部231dを介して基板230から電流を供給される。パターン362aのうち、可動板231の先端の一辺231eに沿った直線の部分を流れる電流が、ローレンツ力を生じさせるために用いられる。また、図示していないが、本実施の形態の光スイッチには、永久磁石または電磁石等の磁界発生手段が取り付けられている。磁界発生手段の磁界の方向は、可動板231の先端の一辺231eと直交する方向であって基板230の主平面と平行な方向であり、磁界の向きは、パターン362aに供給する電流の向きとの関係により、可動板231を基板230に近づける向き（下向き）のローレンツ力を生じるように定められる。

#### 【0138】

また、A1膜362のうちパターン362bは、2つの脚部231aのそれぞれから、可動板231の内側の縁に沿って可動板231の先端部まで延び、先端部に配置された長形状のパターン362dに接続されている。パターン362bは、脚部231aにおいて基板230に設けられた配線と接続され、基板230内に設けられた電極との間に電圧が印加される。これにより、パターン362bおよび362dと、基板230内に設けられた電極との間には静電力が生じ、この静電力により可動板231は、基板230に引き寄せられる。

#### 【0139】

本実施の形態において、可動板231を駆動する場合には、図38のような波

形のローレンツ力用電流を、脚部 231d を介して A1 膜 362 のパターン 362a に供給するとともに、図 38 のような波形の静電力用電圧を、脚部 231a を介して、A1 膜 362 のパターン 362b、362d に供給する。具体的には、可動板 231 を上側に位置する状態（図 40（b）の状態）から下側に位置する状態（図 40（a）の状態）に引き下げる場合には、まず、ローレンツ力用電流を時間 T1 から供給する。これにより、可動板 231 は、先端のパターン 362a を流れる電流と磁界発生手段の磁界とにより生じるローレンツ力により、下向きの力を受け、基板 230 側に徐々に接近し、時間 T2 において、基板 230 に接した状態（図 40（a）の状態）となる。このように、可動板 231 が基板 230 に接した状態の時間 T3 において、今度は静電力用電圧を A1 膜 362 のパターン 362b、362d に供給する。これにより、パターン 362b、362d と、基板 230 内の電極との間の静電力により、可動板 231 が基板 230 に接した状態（図 40（b）の状態）に保持される。静電力が作用する状態になったならば、ローレンツ力用電流は不要であるので、時間 T4 においてローレンツ力用電流をオフにする。また、可動板 231 を再び上側に位置する状態に変化させる場合には、時間 T5 において静電力用電圧をオフにする。これにより、可動板 231 は、膜の内部応力により瞬時に持ち上がり図 40（b）の状態に変化する。

#### 【0140】

このように、ローレンツ力と静電力とを組み合わせることにより、上側に位置する可動板 231 を基板 230 に接するように引きつけるまではローレンツ力を利用し、引きつけた状態を維持するためには静電力を用いることができる。これにより、静電力のみで可動板 231 を基板 230 まで引きつける場合と比較して、消費電力を小さくすることができ、小さな消費電力で駆動可能な光スイッチを提供できる。

#### 【0141】

また、上述のように、可動板 231 は、ミラー 118 が搭載される部分を取り囲むように凸部 364 を形成することにより、可動板 231 の平面性を維持する構成であるため、可動板 231 のうちミラー 118 の反射部 101 が搭載されて

いる部分、可動板 231 を引き下げた図 40 (b) の状態では、基板 230 に接する高さとなる。よって、搭載されているミラー 118 の反射部 101 を基板 230 になるべく近い低い位置に支持できる。これにより、光導波路基板 240 と基板 230 との間隔が狭くても、反射部 101 を光導波路基板 240 の溝 246 から取り出すことができるため、消光比の大きな薄型の光スイッチを得ることができる。

#### 【0142】

また、本実施の形態では、図 26 のように、可動板 231 上に 2 つの薄膜立体構造体 5 をミラー 118 のストッパーとして搭載している。薄膜立体構造体 5 は、ミラー 118 の反射部支持部 105 の両脇を図 26 中の x 方向から押して支える位置に配置されている。これにより、支持部 102, 103 の湾曲により支持されている反射部支持部 105 の x 方向の位置を一定に保つことができるため、温度変化により支持部 102, 103 の湾曲状態が変化しても、反射部 101 の位置および向きを一定に維持することができる。

#### 【0143】

薄膜立体構造体 5 の構造について、図 27 (a)、(b)、(c) を用いて説明する。薄膜立体構造体 5 は、4 段の単位構造部材 511 ~ 514 を積み重ねた構造である。1 段目の単位構造部材 511 は、可動板 231 の凸部 364 の一部 364b と兼用されており、可動板 231 と一体に構成されている。単位構造部材 512, 513 は、図 27 (c) のように、複数の支持部 51 と、平面部 52 とを有している。平面部 52 は、両端が支持部 51 によって支えられている。2 段目の単位構造部材 512 は、1 段目の単位構造部材 511 上に配置された 3 つの支持部 51 と、3 つの支持部 51 の間に支持された 2 つの平面部 52 とを有する。3 段目の単位構造部材 513 は、2 段目の構造部材の 2 つの平面部 52 の上にそれぞれ配置された 2 つの支持部 51 と、その間に支持された 1 つの平面部 52 とを有する。最上段の 4 段目の単位構造部材 514 は、3 段目の単位構造部材 513 の 1 つの平面部 52 上に配置された 1 つの支持部 51 を有し、平面部 52 は有していない。最上段の単位構造部材 514 は、最下段の単位構造部材 511 の幅よりも突出する突起部 71 が備えられている。この突起部 71 が、図 26 の

ように反射部支持部 105 と接して x 方向に押し、反射部支持部 105 を支持している。

#### 【0144】

単位構造部材 512、513 は、それぞれ連続した一つの膜によって、支持部 51 と平面部 52 とが一体に形成されている。また、単位構造部材 514 は、連続した一つの膜によって支持部と突起部 71 とが一体に形成されている。支持部 51 は、4 つの側面と底面とを有し、これらが連続した膜により形成されている。本実施の形態では、2 段目から 4 段目の単位構造部材 512～514 を構成する膜の厚さは、 $1\mu\text{m}$  以下、例えば  $0.2\mu\text{m}$  程度である。また、単位構造部材 511～514 の高さは、それぞれ  $4\mu\text{m}$  である。よって、薄膜立体構造体 5 の全体の高さは、 $16\mu\text{m}$  である。

#### 【0145】

2 段目から 4 段目の単位構造部材 512～514 が互いに接する部分、すなわち支持部 51 の底面と、それを搭載する平面部 52 との間には、特別な接着層は配置されていないが、成膜時に膜同士が固着する力により、固定されている。また、2 段目の単位構造部材 512 の支持部 51 の底面は、成膜時に、1 段目の単位構造部材 511 を構成する薄膜の可動板 231 に固着し、これにより単位構造部材 511 に固定されている。

#### 【0146】

2 段目および 3 段目の単位構造部材 512～513 において、複数の支持部 51 の間隔は、平面部 52 がそれ自身の膜応力やその上段の支持部 51 から受ける重さによって撓みを生じない程度の間隔あって、かつ、支持部 51 を配置可能な面積の平面部 52 が確保できる間隔となるように定められている。

#### 【0147】

また、2 段目から 4 段目の単位構造部材 512～514 は、膜の周縁部を 2 回屈曲させることによって形成した段差（折り返し）53 を有している。これにより、 $0.2\mu\text{m}$  程度という薄い膜で構成されているにも関わらず変形しにくく、薄膜立体構造体 5 の剛性を高めている。また、単位構造部材 512～514 を構成する膜に内部応力が存在している場合であっても、変形が生じるのを段差 53

によって防止することができ、構造を保持できる。

#### 【0148】

このように薄膜立体構造体5は、薄膜で形成されているため、重量が軽く、薄膜（SiN膜）で形成された支持部51であっても平面部52を十分に支持することが可能である。よって、 $16\mu\text{m}$ という高さの高い立体構造を、薄膜のみで十分に維持することができる。しかも、上段へ行くほど、支持部の数が減る（2段目：支持部51が3つ→3段目：支持部51が2つ→4段目（最上段）：支持部51が1つ）というピラミッド構造をとっているため、上段に行くほど軽くなり、支持部51の負担を軽減している。

#### 【0149】

このように、本実施の形態の薄膜立体構造体5は、高さがあり、剛性があり、しかも、自重が軽い立体構造体を提供できる。したがって、この薄膜立体構造体5を可動板231に搭載してミラー118のストッパーとして用いることにより、可動板231に負担を与えることなく、振動等に対してミラー118の位置を維持することができる。

#### 【0150】

単位構造部材511～514は、可動板231およびミラー118の構成部材とは、全く別の工程で形成することももちろん可能である。しかしながら、単位構造部材511を可動板231の一部とするのと同様に、可動板231やミラー118を構成する部材の成膜時に単位構造部材512～514を同時に形成することにより、製造工程を大幅に簡略化することができる。本実施の形態では、2段目の単位構造部材512は、支持部103および支持部102を構成する膜を成膜する際に同時に形成した3層膜によって構成する。3段目の単位構造部材513は、反射部101を構成する膜を成膜する際に同時に形成された薄膜によって構成する。単位構造部材514は、ミラー118とは別に、窒化シリコン膜により形成する。

#### 【0151】

本実施の形態のミラー118の製造工程を図29（a）～（c）、図30（d）～（f）を用いて説明する。支持部102、103、接続部104、反射部支



持部 105、反射部 101、および、薄膜立体構造体 5 は、図 28 のような配置および形状にパターンニングされる。なお、図 29 (a) ~ (c)、図 30 (d) ~ (f) は、図 28 の K-K 断面において製造工程を示している。

#### 【0152】

まず、図 29 (a) のように、可動板 231 を駆動するために必要な配線（不図示）が形成された基板 230 上に、犠牲層となるレジスト層 2001 を形成し、脚部 231a、231d となる部分に開口（不図示）を設ける。また、レジスト層 2001 の上に、可動板 231 の凸部 364 を設ける部分にレジストアイランド 2002 を形成する。この上に、窒化シリコン膜 361 を成膜し、脚部 231a、231d の開口の底部の窒化シリコン膜に孔を形成する。この上に A1 膜 362 を成膜し、図 37 のパターン 362a ~ 362d の形状にパターンニングする。さらに、窒化シリコン膜 363 を成膜した後、窒化シリコン膜 361、363 を可動板 231 の形状にパターンニングする。これにより、凸部 364 の一部を 1 段目の単位構造部材 511 とする可動板 231 が形成できる。なお、A1 膜 362 および窒化シリコン膜 361、363 のパターンニングは、フォトリソグラフィおよびエッチングの手法により行う。

#### 【0153】

つぎに、全体にレジスト層 81 を形成し、支持部 102 の脚部 102c を形成すべき位置、および、薄膜立体構造体 5 の単位構造部材 512 の支持部 51 を形成すべき位置に、開口 81a および開口 81b をそれぞれフォトリソグラフィーにより形成する（図 29 (a)）。

#### 【0154】

つぎに、接続部 104 ならびに反射部支持部 105 を形成すべき位置、および、薄膜立体構造体 5 の単位構造部材 512 を形成すべき位置に、それぞれ、レジストアイランド 201 およびレジストアイランド 2201 を形成する（図 29 (b)）。このようにレジストアイランド 201 および 2201 を形成することにより、接続部 104、反射部支持部 105、および、単位構造部材 512 の縁に段差を形成することができ、これらの剛性を高めることができる。

#### 【0155】

つぎに、支持部 103 を構成する A1 膜 103a を成膜し、フォトリソグラフィとエッチングの手法により、図 28 の支持部 103 の形状、および、単位構造部材 512 の形状にパターニングする（図 29（c））。

#### 【0156】

つぎに、窒化シリコン膜と A1 膜 102b とを順に成膜する（図 30（d））。成膜した A1 膜 102b を図 19 の支持部 102 の形状、および、単位構造部材 512 の形状にパターニングする。その後、窒化シリコン膜を、支持部 102、接続部 104、支持部 103、反射部支持部 105、および、単位構造部材 512 の形状にパターニングする（図 30（e））。これにより、支持部 103 の窒化シリコン膜 103b と、接続部 104 と、反射部支持部 105 とが一度に形成される。また、図 29（c）と図 30（d）の工程により、A1 膜、窒化シリコン膜、A1 膜を順に積層した 3 層構造の単位構造部材 512 を形成することができる。

#### 【0157】

全面にレジスト層 141 を形成し、反射部支持部 105 の接続部 105b となる位置、および、薄膜立体構造体 5 の単位構造部材 513 の支持部となる位置に、それぞれ開口を形成する。この上にさらに、レジスト層 82 を形成し、反射部 101 の縁 101a の内側形状部分、および、単位構造部材 513 の形状部分を残して除去し、レジストアイランドを形成する。さらに、レジスト層 82 の反射部支持部 105 の接続部 105b となる位置、および、単位構造部材 513 の支持部 51 となる位置に開口を形成した後、全面に A1 膜 101 を成膜して、反射部 101 の形状、および、単位構造部材 513 の形状にパターニングする（図 30（f））。これにより、反射部 101、および、3 段目の単位構造部材 513 を形成することができる。これが、図 28 の状態である。

#### 【0158】

さらに、全面にレジスト層（不図示）を形成した後、4 段目の単位構造部材 514 の支持部 51 を形成すべき位置に開口を形成し、この上に、単位構造部材 514 の形状にレジストアイランドを形成する。全面に窒化シリコン膜を形成、単位構造部材 514 の形状にパターニングする。これにより、4 段目の単位構造部

材 514 が形成できる。

#### 【0159】

最後に、アッシングにより、すべての犠牲層のレジスト層 81, 141, 82 等を除去する。これにより、支持部 102 および支持部 103 が湾曲して立ち上がり、図 18 (a), (b) のミラー 118 の反射部 101 を支持するとともに、反射部支持部 105 が薄膜立体構造体 5 に接触し、反射部 101 が基板 230 に対してほぼ垂直に位置決めされる。また、可動板 231 も脚部 231a、231d を支持部として、基板 230 から立ち上がり、図 38 のローレンツ力用電流および静電力用電圧を A1 膜 362 のパターン 362a、362b、362d に与えることにより、ローレンツ力および静電力によりミラー 118 を上下動することが可能になる。

#### 【0160】

このように、第 9 の実施の形態では、可動板 231 上に薄膜立体構造体 5 をストッパーとして搭載することにより、ミラー 118 の反射部 101 の向きを一定に維持することができる。また、可動板 231 に凸部 364 を設けミラー 118 を搭載している部分の平面性を維持しているため、ミラー 118 の反射部 101 の向きを一定に保持することができる。また、可動板 231 を、ローレンツ力と静電力とを組み合わせで駆動する構成であるため、低消費電力で駆動可能な光スイッチを提供できる。

#### 【0161】

また、第 9 の実施の形態では、可動板 231 上に搭載するミラーとして、図 18 (a), (b) のミラー 118 を用いているが、ミラー 118 に限らず、上述の第 1 ～ 第 6 の実施の形態のいずれかのミラーを搭載し、ストッパーとして薄膜立体構造体 5 を搭載することが可能である。例えば、第 2、第 3 の実施の形態のミラー 112、113 のストップ部 91, 92、93, 94 の代わりに、薄膜立体構造体 5 をストッパーとして搭載することができる。

#### 【0162】

なお、上記薄膜立体構造体 5 は、4 段としているが、必要な高さが得られるように所望の段数にすることができる。また、上記実施の形態では、最下段の単位

構造部材 511 を可動板 231 と一体に形成しているが、可動板 231 上に別の薄膜で単位構造部材 511 を形成することも可能である。この場合、支持部 51 を 5 つとして、単位構造部材 512 と同様の形状にする。

#### 【0163】

また、薄膜立体構造体 5 は、上記図 27 (a), (b), (c) の形状に限定されるものではない。例えば、図 31 ~ 図 33 の形状のものを用いることができる。

#### 【0164】

図 31 の薄膜立体構造体 3002 は、上面形状は、図 27 (a) とほぼ同様であるため、図示を省略している。ただし、最下段の単位構造部材 511 を可動板 231 とは別体としている。薄膜立体構造体 3002 は、単位構造部材 511 ~ 514 が、周縁部に段差を備えていない点と、単位構造部材 511 ~ 514 が、すべて 3 層膜によって構成されている点である。これら以外の構成は、第 1 の実施の形態と同様である。

#### 【0165】

単位構造部材 511 ~ 514 を構成する 3 層膜は、基板側から順に膜 310, 膜 320, 膜 330 が積層された構成である。このようにすべての単位構造部材 511 ~ 514 を 3 層膜にしているのは、各膜 310, 320, 330 の内部応力を互いに打ち消し合わせ、残留応力がほとんどない 3 層膜により単位構造部材 511 ~ 514 を構成するためである。内部応力を打ち消し合わせるために、最下層の膜 310 と最上層の膜 320 が同じ材質で構成され、同程度の膜厚であることが望ましい。例えば膜 310 と膜 330 を同じ膜厚の SiN 膜とし、これらに挟まれた膜 320 を Al 膜とすることができる。

#### 【0166】

このように、図 31 の薄膜立体構造体 3002 は、単位構造部材 511 ~ 514 を、内部応力を打ち消し合った 3 層膜により構成しているため、図 27 の薄膜立体構造体 5 のように段差 53 を形成しなくても、剛性を保つことが可能である。

#### 【0167】

つぎに、図32の薄膜立体構造体3003について説明する。薄膜立体構造体3003は、単位構造部材41、42を有している。1段目の単位構造部材41は、円形の平面部44と、平面部44を支持する3本の支持部43とを有する。3本の支持部43は、円形の平面部44の中心を中心として120°おきに、すなわち正三角形の頂点の位置に配置されている。このように、薄膜立体構造体3003の支持部43は、薄膜立体構造体5のように支持部51が一直線上に並んでおらず、支持部43が立体的に配置されている。

#### 【0168】

2段目の単位構造部材42は、1段目の単位構造部材41と同じ大きさおよび形状である。2段目の単位構造部材42の支持部43は、1段目の単位構造部材41の平面部44によって支持されるように、1段目の単位構造部材41の支持部43から60°ずつずれた角度に配置されている。

#### 【0169】

なお、図32の薄膜立体構造体3003も、薄膜立体構造体5と同様に、SiN等の薄膜によって、支持部43と平面部44とが一体に形成されている。また、薄膜の周縁部には、段差（折り返し）53が設けられ、単位構造部材41、42の変形を防ぎ、薄膜立体構造体3の剛性を保っている。

#### 【0170】

図32の薄膜立体構造体3003は、薄膜立体構造体5と同様の製造手順により、製造することができる。

#### 【0171】

また、図32では、単位構造部材41、42が2段重ねられた薄膜立体構造体3003を示しているが、同様に単位構造部材を3段以上積層することも可能である。

#### 【0172】

つぎに、図33に示した薄膜立体構造体3004について説明する。薄膜立体構造体3004は、薄膜立体構造体5の変形例である。薄膜立体構造体3004は、4段の単位構成部材61、62の全てにおいて、支持部51の数が一つである。支持部51の内部にはレジスト65が充填されている。支持部51の上部に

は、レジスト 65 の蓋の役目をすると共に、上段の支持部 51 を支える平面部 66 がかぶせられている。

#### 【0173】

支持部 51 の形状は、薄膜立体構造体 5 の支持部 51 と同様であり、4 つの側面と底面とが一つの膜により一体に形成されている。支持部 51 を構成する膜の周縁部には、段差（折り返し）53 が形成されている。平面部 66 を構成する膜の周縁部にも段差（折り返し）53 が形成されている。支持部 51 の段差 53 と、平面部 66 の段差 53 を構成する膜は、成膜時に生じる固着力により、密着している。

#### 【0174】

図 33 の薄膜立体構造体 3004 は、すべての段において支持部 51 の数が 1 つであり、単位構造部材 61 ～ 64 が上方に直線状に積まれているため、狭い面積に高さの高い立体構造を形成することが可能である。また、支持部 51 の内側にはレジスト 65 が充填されているため、支持部 51 の内側が中空の場合と比較して支持強度が増している。これにより、図 33 のような直線状に積まれた構造であっても、強度を得ることができる。

#### 【0175】

なお、支持部 51 の内側に充填されているレジストは、犠牲層の一部であるため、レジスト 65 の充填のために、製造工程を増加させる必要はない。

#### 【0176】

なお、図 33 薄膜立体構造体 3004 の構成において、支持部 51 の内部が充填されていない構成にすることも可能である。この構成は、支持部 51 の一部に開口を設け、内部のレジストを犠牲層とともに除去することにより実現できる。

（第 10 の実施の形態）

第 10 の実施の形態の光スイッチを図 34（a），（b）および図 41（a），（b）を用いて説明する。

#### 【0177】

本実施の形態の光スイッチは、第 9 の実施の形態の光スイッチとほとんど同様の構成であるが、図 34（b）および図 41（a）に示したように、ミラー 11

8の反射部101を可動板231に対して傾斜させている点が、第9の実施の形態とは異なる。反射部101を傾斜させている他は、ミラー118の構造は、図34(a)のように、図18(a)と同じである。

#### 【0178】

反射部101を可動板231に対して傾斜させているのは、つぎのような理由による。第9の実施の形態の光スイッチは、図40(a)のように、可動板231が基板230と平行な状態で、ミラー118の反射部101の上端の辺が光導波路基板240の主平面と平行になる形状である。このため、可動板231が持ち上がり、図40(b)のように反射部101が光導波路基板240の溝246に挿入された状態では、反射部101の上端の辺が光導波路基板240に対して傾斜する。そこで、本実施の形態では、反射部101が光導波路基板240の溝246に挿入された図41(b)の状態、反射部101の上端の辺101bが光導波路基板240に対して平行となるように、予め傾斜させた形状に反射部101を形成する。これにより、図41(b)のように可動部231を持ち上げたときに、溝246に挿入される反射部101の面積を増加させることができるため、小さな反射部101であっても、効率よく光導波路243、244の端面を覆うことができる。また、溝246の深さを浅くすることが可能であるため、薄型の光スイッチを提供できる。

#### 【0179】

なお、図34(b)のように反射部101を傾斜させたミラー118を製造する工程は、第9の実施の形態で説明した工程とほとんど同じであるが、反射部101をパターンニングする際に、図35のように、傾斜したパターンにパターンニングする。これにより、図34(b)のように反射部101を傾斜させたミラー118を製造できる。

#### 【0180】

上述の各実施の形態において、図1(a), (b)のミラー12、図10(a), (b)のミラー112、図12のミラー113、図15(a)のミラー116、図16のミラー117、図18のミラー118は、反射部101を搭載しているが、反射部101に代えて偏光特性を有する偏光膜や、光波長フィルタ特性

を有する光学薄膜を搭載することも可能である。これらを、例えば第1、第8または第9の実施の形態の可動板21、231に搭載することにより、偏光器、波長選択器等の光学素子を構成することができる。

### 【0181】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、光束を所望の方向へ反射可能な光反射部を備えた光学素子を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1(a)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのミラー12のA-A断面図であり、図1(b)は、図1(a)のミラー12のD矢視図である。

【図2】図2は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチの上面図である。

【図3】図3は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのB-B断面図である。

【図4】図4は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのC-C断面図である。

【図5】図5は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチに電圧を印加し、可動板21を下位置に移動させた場合のB-B断面図である。

【図6】図6は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチに印加する電圧と、ミラー12（可動板21）の位置との関係を示すグラフである。

【図7】図7(a)および(b)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチの製造工程を示す断面図である。

【図8】図8(c)～(g)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチのミラーの製造工程を示すための可動板21の拡大断面図である。

【図9】図9(h)は、本発明の第1の実施の形態の光スイッチの製造工程を示す断面図である。

【図10】図10(a)は、本発明の第2の実施の形態の光スイッチのミラー112の断面図であり、図10(b)は、図10(a)のミラー112のE矢視図である。



【図 1 1】図 1 1 は、本発明の第 2 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 2 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

【図 1 2】図 1 2 は、本発明の第 3 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 3 の断面図である。

【図 1 3】図 1 3 は、本発明の第 3 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 3 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

【図 1 4】図 1 4 (a) ~ (e) は、本発明の第 3 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 3 の製造工程を F-F 断面方向について示す断面図である。

【図 1 5】図 1 5 (a) は、本発明の第 4 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 6 の側面図であり、図 1 5 (b) は、本発明の第 4 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 6 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

【図 1 6】図 1 6 は、本発明の第 5 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 7 の断面図である。

【図 1 7】図 1 7 は、本発明の第 5 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 7 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

【図 1 8】図 1 8 (a) は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 8 の断面図であり、図 1 8 (b) は、図 1 8 (a) のミラー 1 1 8 の G 矢視図である。

【図 1 9】図 1 9 は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 8 の製造工程のアッシング前の状態を示す上面図である。

【図 2 0】図 2 0 (a) ~ (c) は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 8 の製造工程を H-H 断面方向について示す断面図である。

【図 2 1】図 2 1 (d) ~ (f) は、本発明の第 6 の実施の形態の光スイッチのミラー 1 1 8 の製造工程を H-H 断面方向について示す断面図である。

【図 2 2】図 2 2 は、本発明の第 7 の実施の形態の光スイッチング装置を示す説明図である。

【図 2 3】図 2 3 は、本発明の第 8 の実施の形態の光スイッチの可動板 2 3 1 の構成を示す斜視図である。

【図 2 4】図 2 4 は、本発明の第 8 の実施の形態の光スイッチの光導波路基板 2

40の構成を示す斜視図である。

【図25】図25(a)は、本発明の第8の実施の形態の光スイッチの電圧印加時の構成を示す断面図であり、図25(b)は、本発明の第8の実施の形態の光スイッチの電圧を印加していない時の構成を示す断面図である。

【図26】図26は、本発明の第9の実施の形態の光スイッチの可動板231上のミラー118と薄膜立体構造体5の構成を示す斜視図である。

【図27】図27(a)は、図26の薄膜立体構造体5の上面図、図27(b)は、図26の薄膜立体構造体5のI-I断面図、図27(c)は、図26の薄膜立体構造体5のJ-J断面図である。

【図28】図28は、図26の光スイッチのミラー118の製造工程の途中工程におけるミラー118の各部のパターンを示す上面図である。

【図29】図29(a)～(c)は、図26の光スイッチのミラー118および薄膜立体構造体5の製造工程を示すK-K断面図である。

【図30】図30(d)～(f)は、図26の光スイッチのミラー118および薄膜立体構造体5の製造工程を示すK-K断面図である。

【図31】図31は、図26の光スイッチの薄膜立体構造体5に代えて搭載可能な薄膜立体構造体3002の構成を示す断面図である。

【図32】図32は、図26の光スイッチの薄膜立体構造体5に代えて搭載可能な薄膜立体構造体3003の構成を示す断面図である。

【図33】図33は、図26の光スイッチの薄膜立体構造体5に代えて搭載可能な薄膜立体構造体3004の構成を示す断面図である。

【図34】図34(a)は、本発明の第10の実施の形態の光スイッチの可動板231上のミラー118構成を示す断面図であり、図34(b)は、図34(a)のL矢視図である。

【図35】図35は、図34の光スイッチのミラー118の製造工程の途中工程におけるミラー118の各部のパターンを示す上面図である。

【図36】図36(a)は、本発明の第9の実施の形態の光スイッチの可動板231の上面図であり、図36(b)は、図36(a)のM-M断面図である。

【図37】図37は、本発明の第9の実施の形態の光スイッチの可動板231に

において、A1膜362の上面から見たパターン形状を示す説明図である。

【図38】図38は、本発明の第9の実施の形態の光スイッチを駆動する際に供給するローレンツ力用電流波形および静電力用電圧波形と、そのときの可動板231との関係を示すグラフである。

【図39】図39は、本発明の第9の実施の形態の光スイッチの、可動板231の斜視図である。

【図40】図40(a)は、本発明の第9の実施の形態の光スイッチにおいて、可動板231を引き下げた状態の構成を示す断面図であり、図40(b)は、可動板231がミラー118を持ち上げた状態の構成を示す断面図である。

【図41】図41(a)は、本発明の第10の実施の形態の光スイッチにおいて、可動板231を引き下げた状態の構成を示す断面図であり、図40(b)は、可動板231がミラー118を持ち上げた状態の構成を示す断面図である。

【符号の説明】

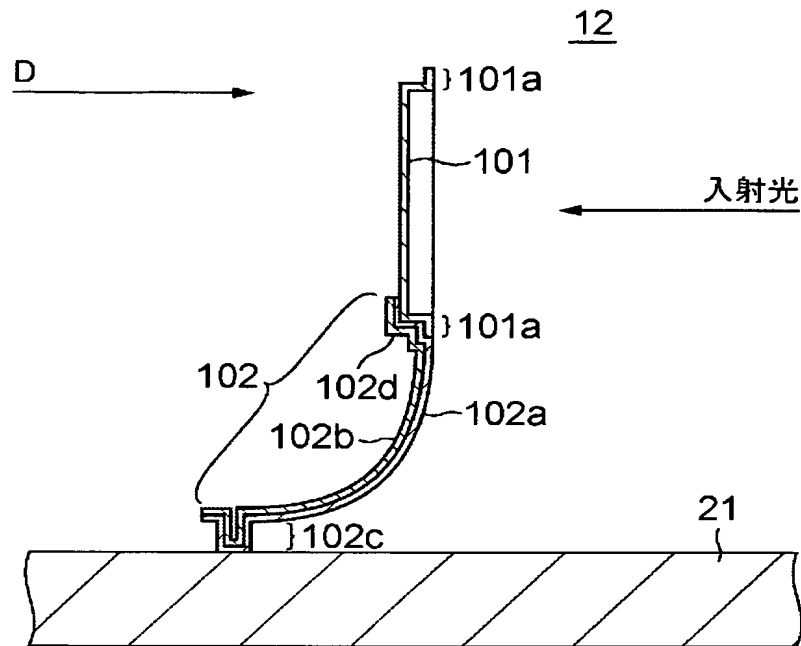
2, 3, 4…光ファイバ、5…薄膜立体構造体、11…基板、12…ミラー、13…凹部、21…可動板、22…絶縁膜、23a…電極、23b…配線、26…絶縁膜、27a, 27b…バネ部、53…段差（折り返し）、71…突起部、81…レジスト層、82…レジスト層、91, 92, 93, 94…ストップ部、101…反射部、102…支持部、104…接続部、105…反射部支持部、112, 113, 114, 115, 116, 117, 118…ミラー、222…温度調節装置、230…基板、231…可動板、240…光導波路基板、241, 242, 243, 244…光導波路、246…溝、251…スペーサー、511, 512, 513, 514…単位構造部材。

【書類名】 図面

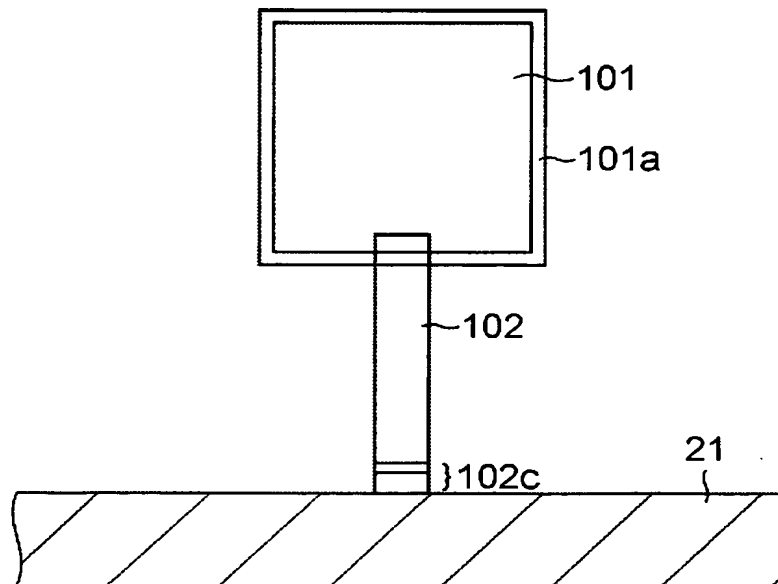
【図 1】

図 1

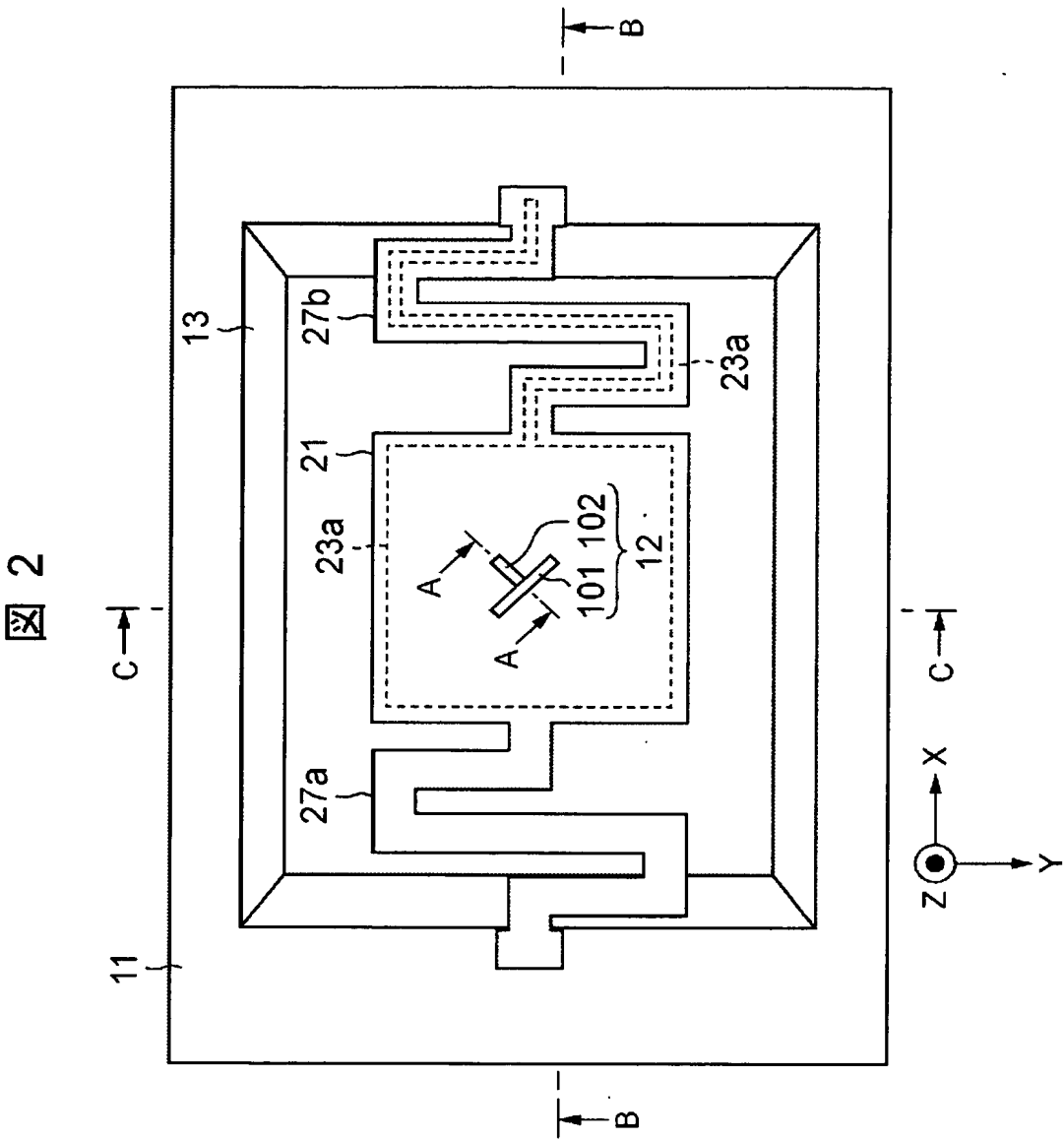
(a) A-A断面図



(b) D矢視図

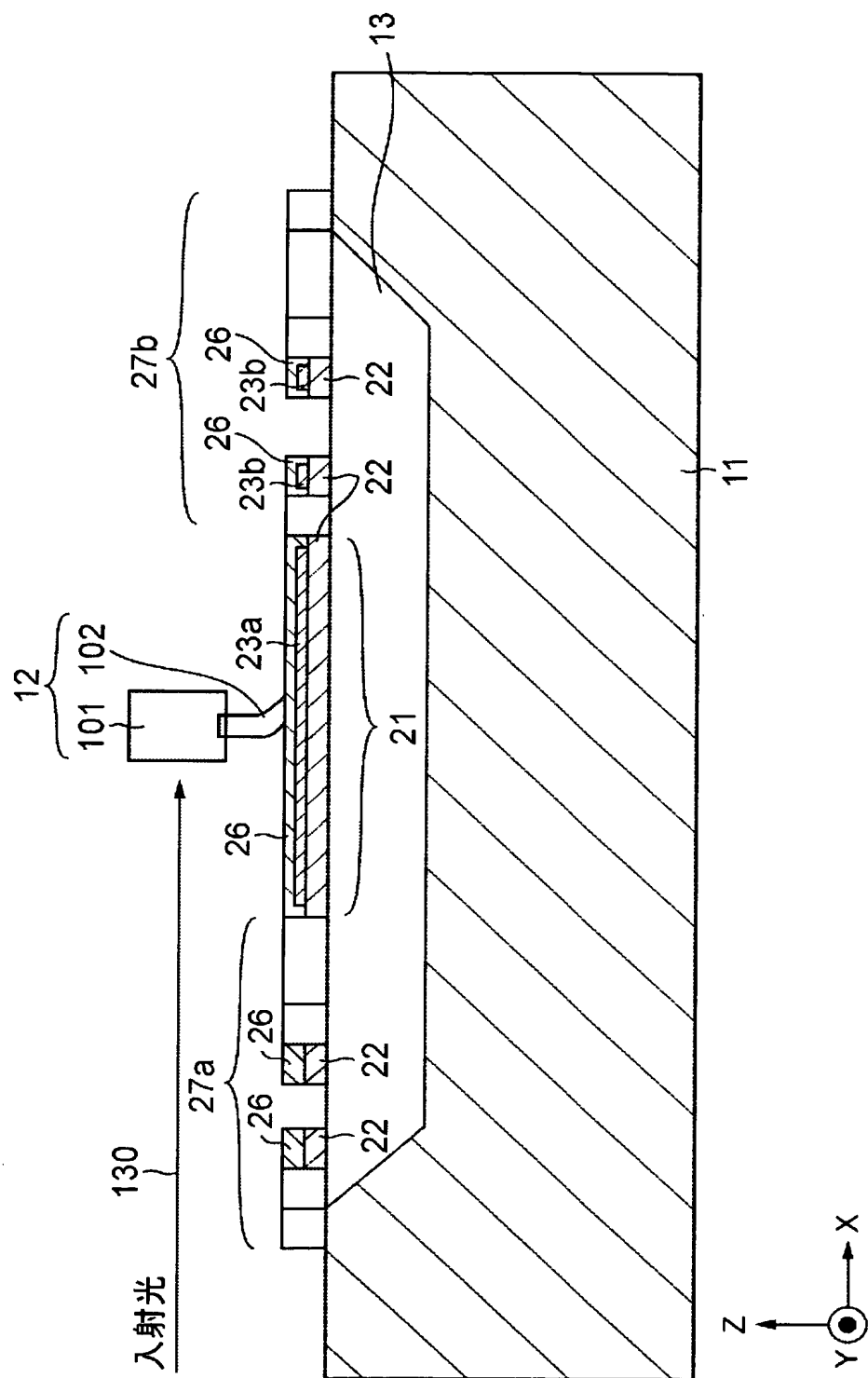


【図 2】



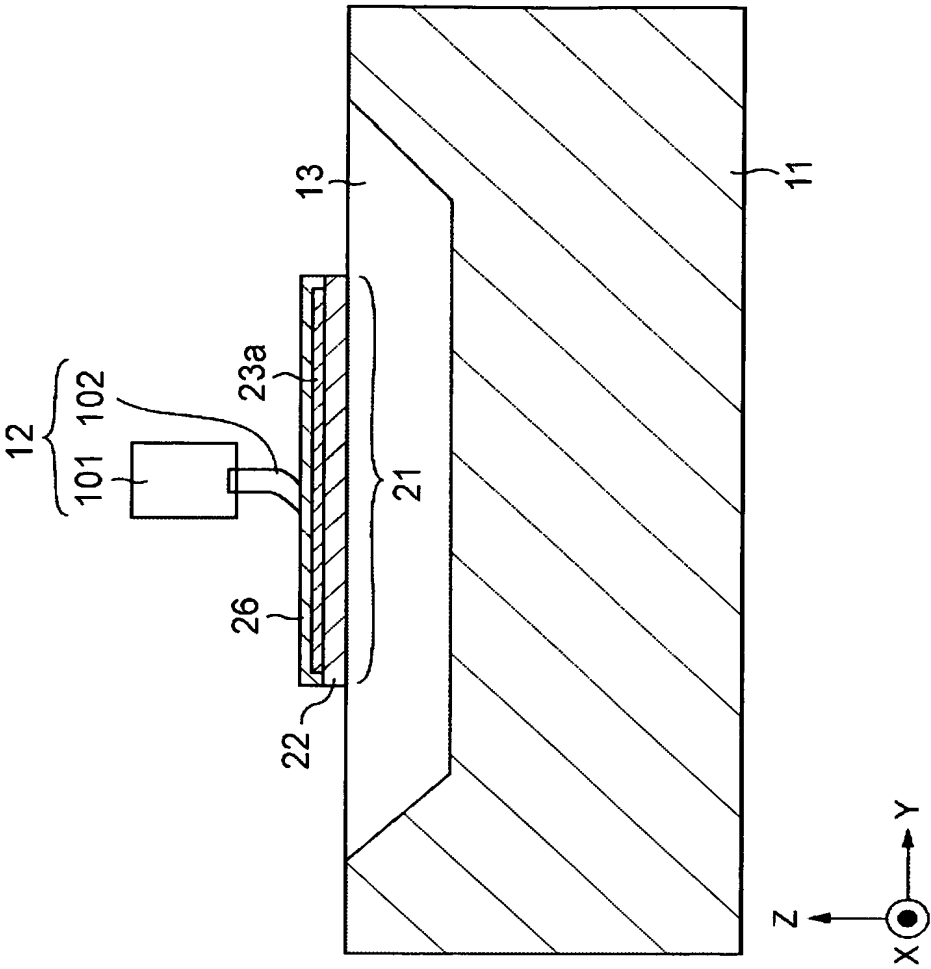
【図 3】

図 3 B-B断面図



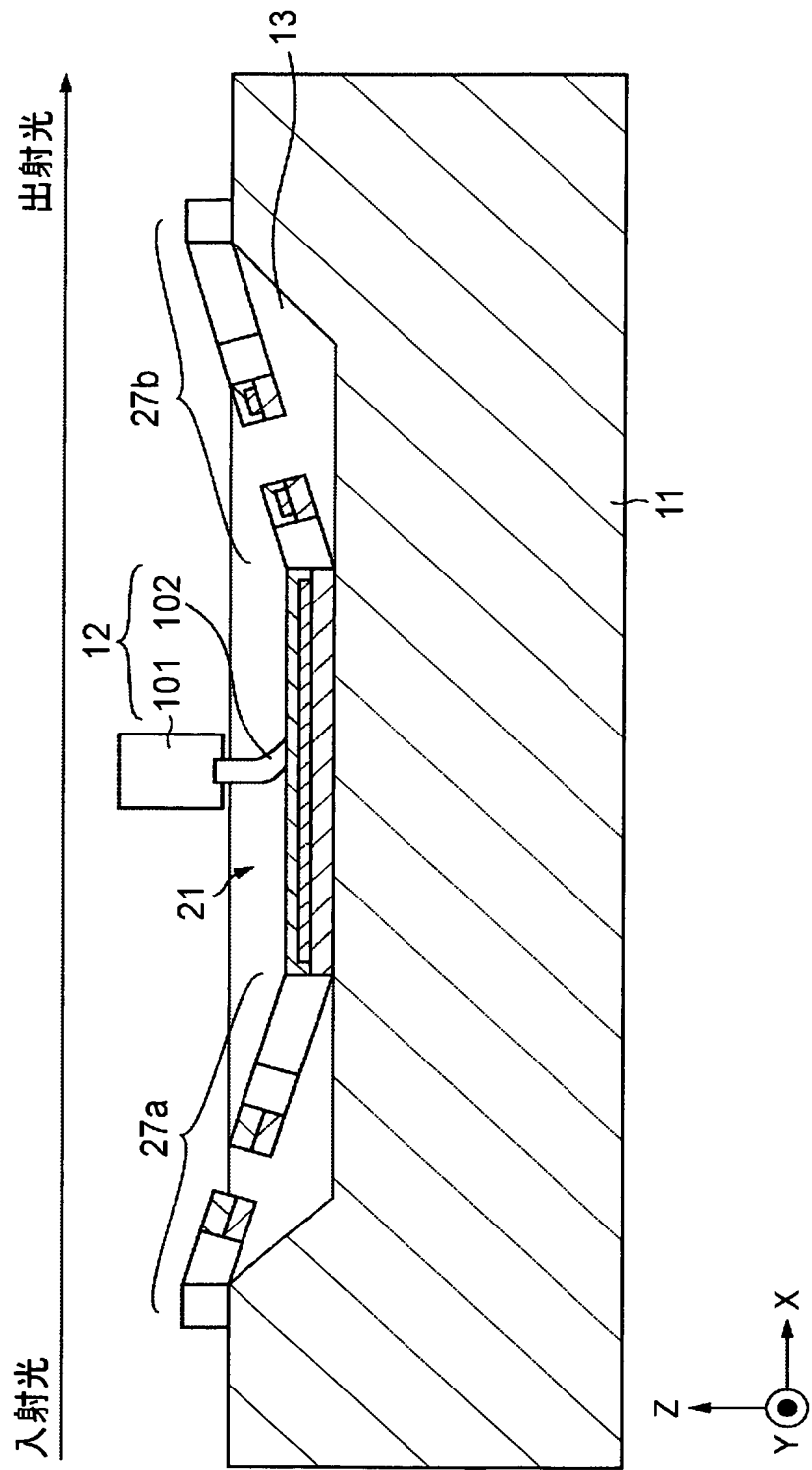
【図 4】

図 4 C-C断面図



【図5】

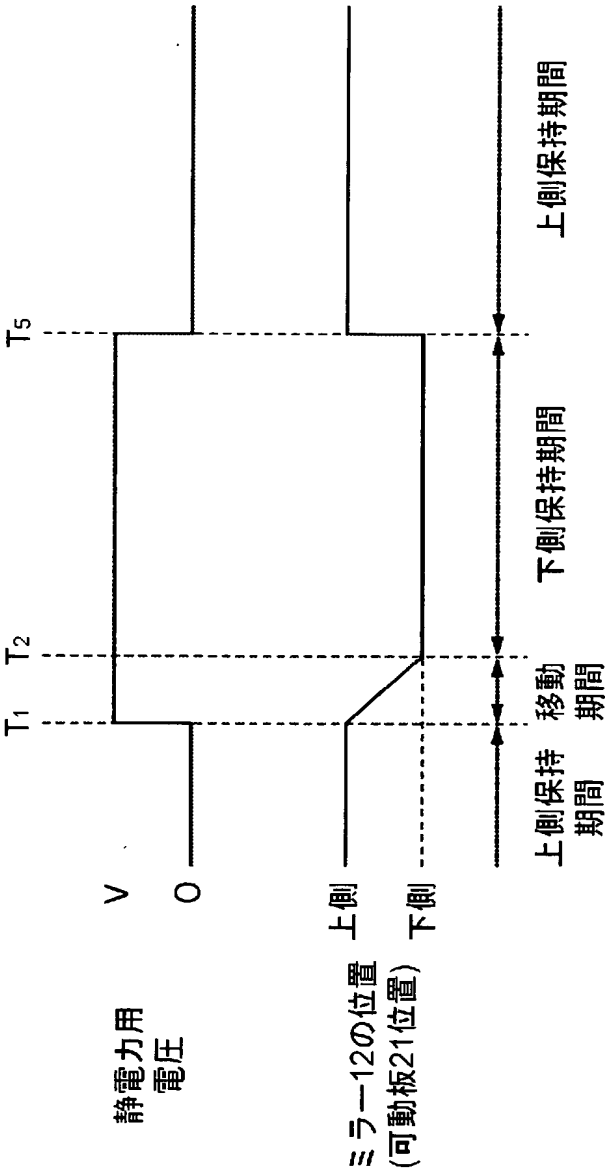
図5 B-B断面図





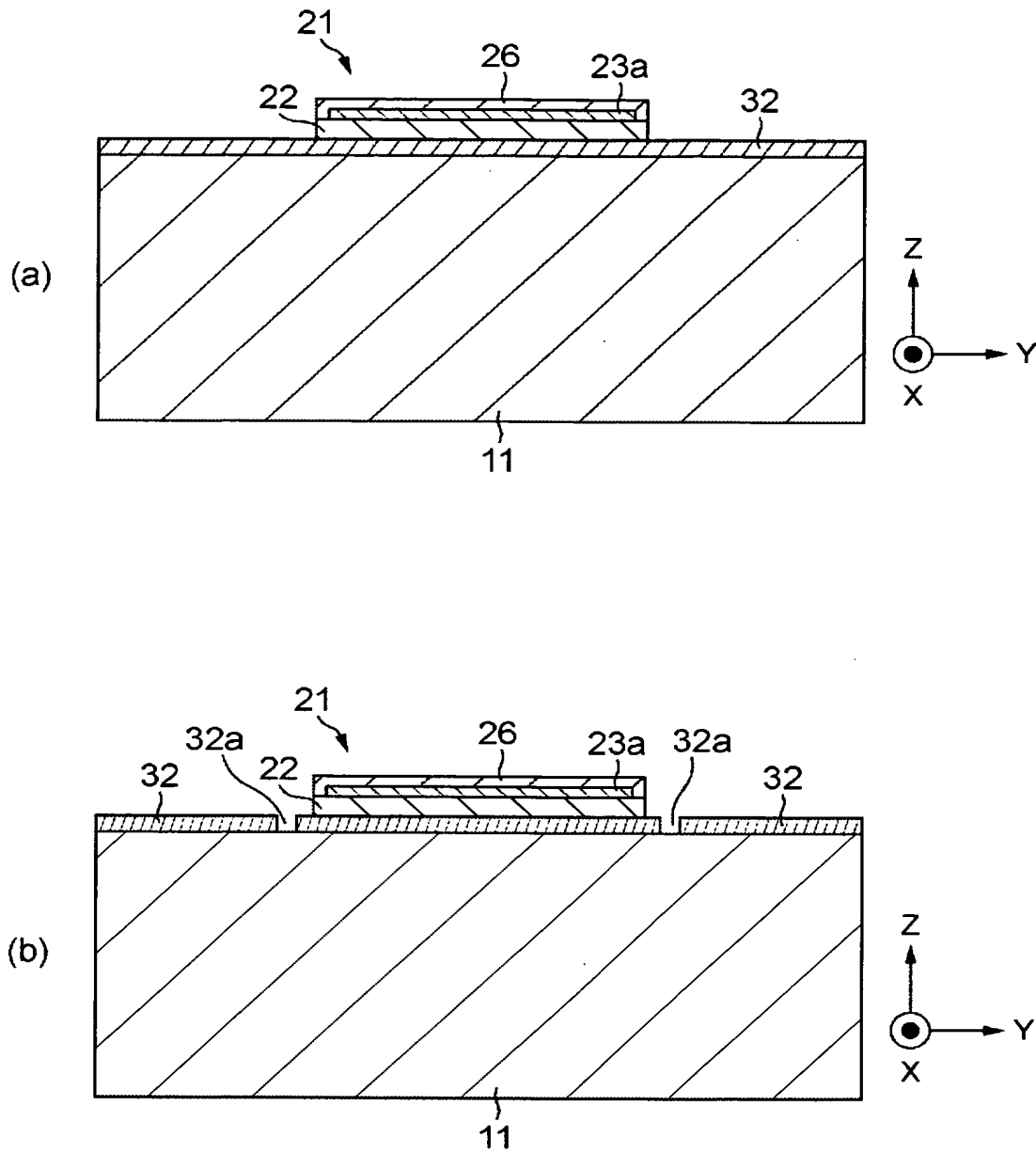
【図 6】

図 6



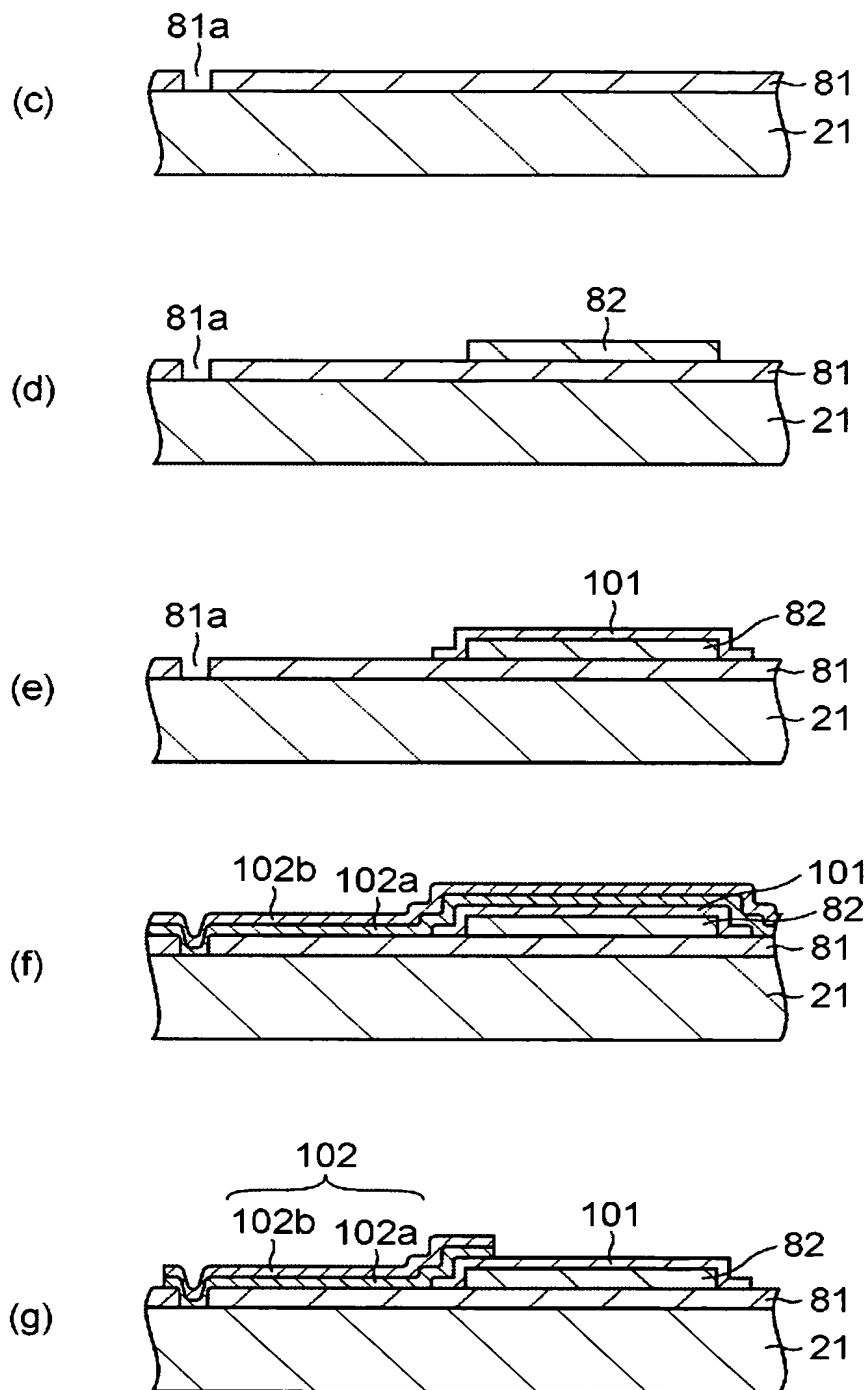
【図 7】

図 7



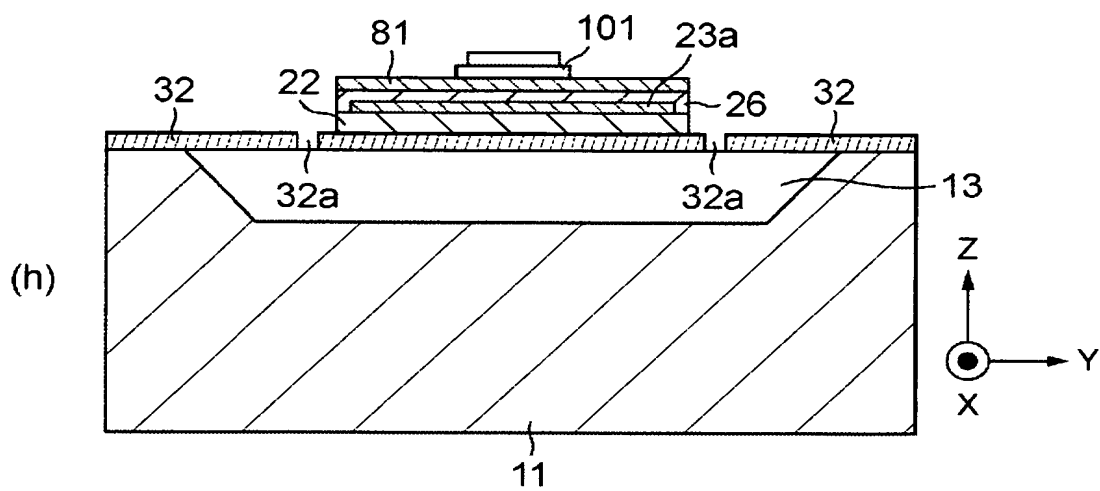
【図 8】

図 8



【図 9】

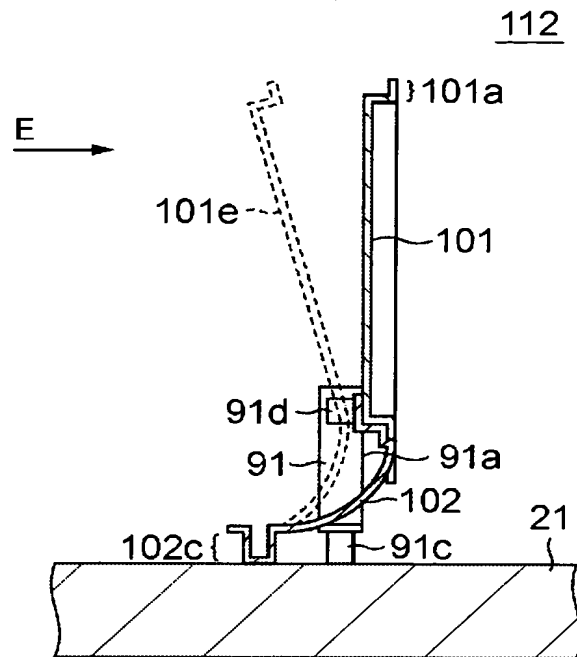
図 9



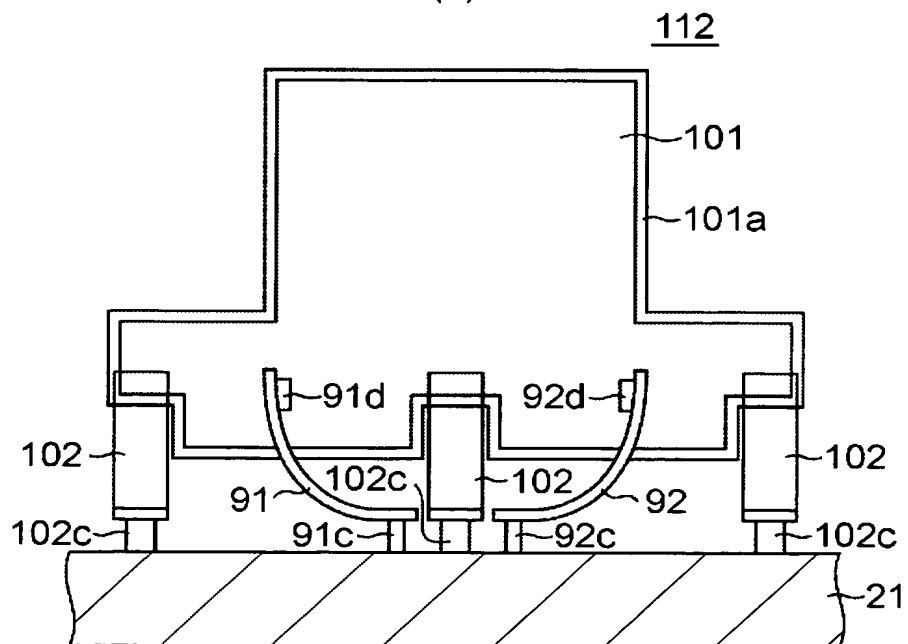
【図 10】

図 10

(a)

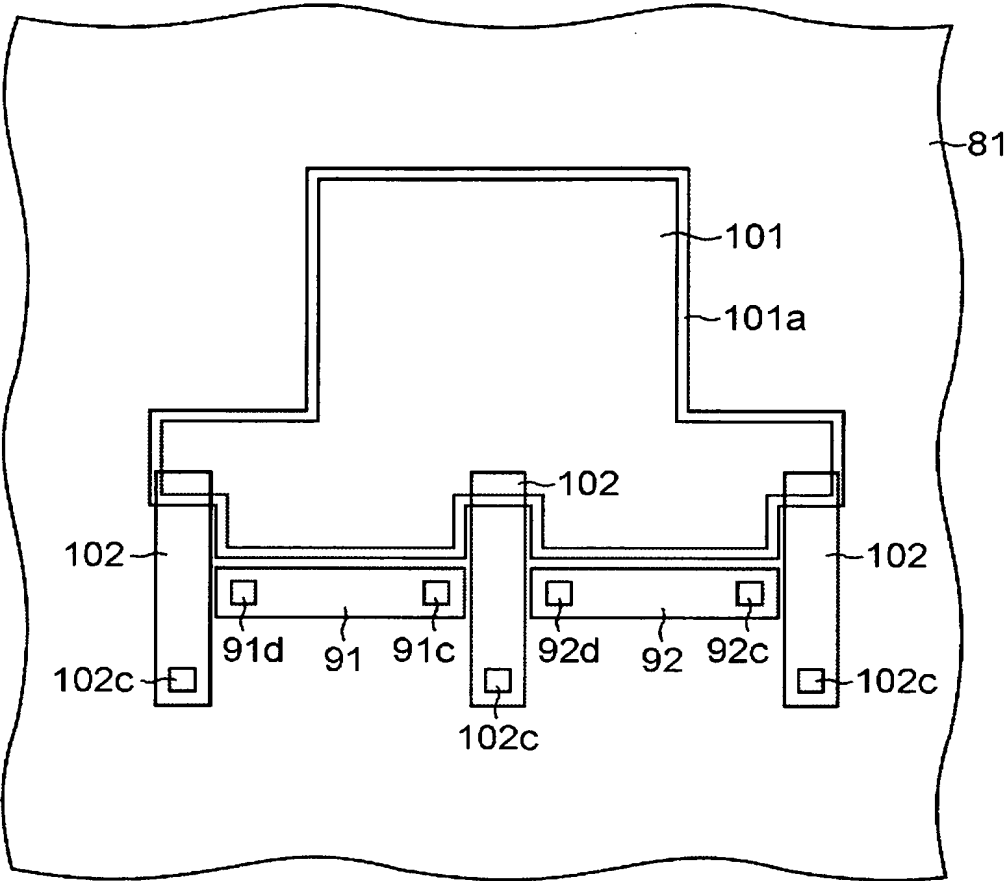


(b) E矢視図



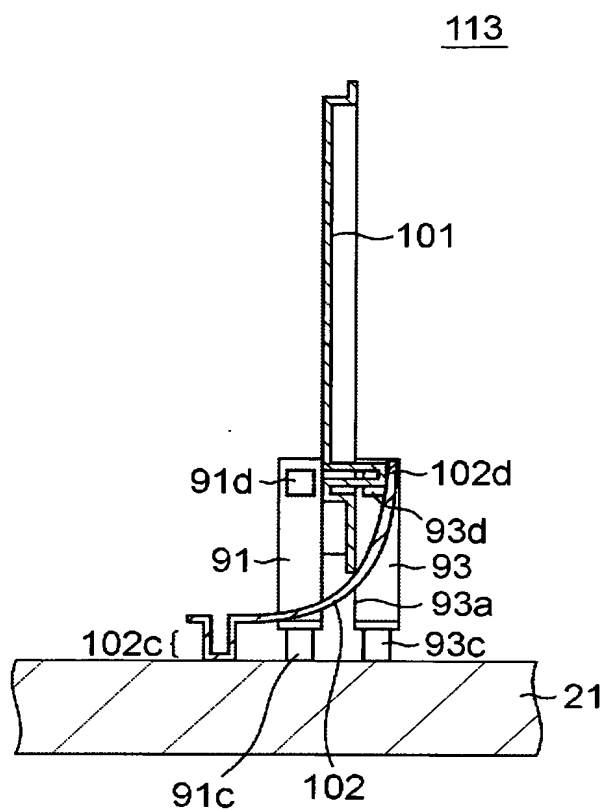
【図 11】

図 11



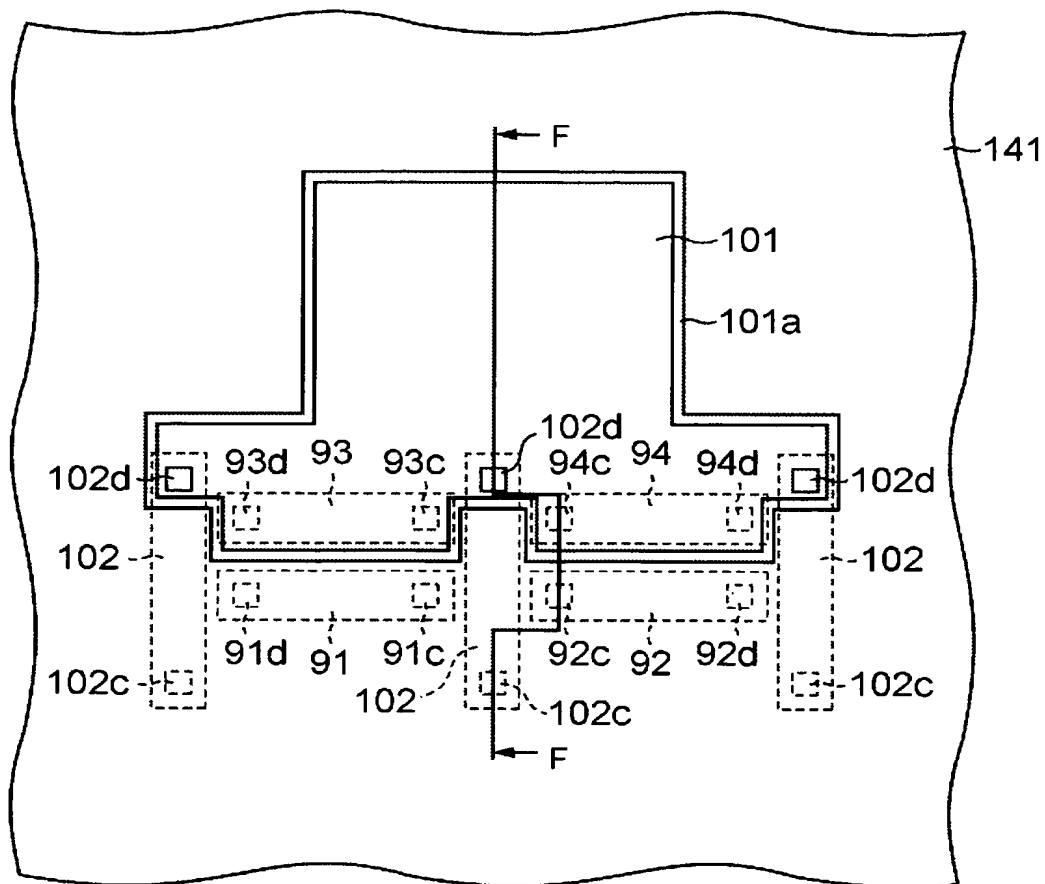
【図 12】

図 12



【図 13】

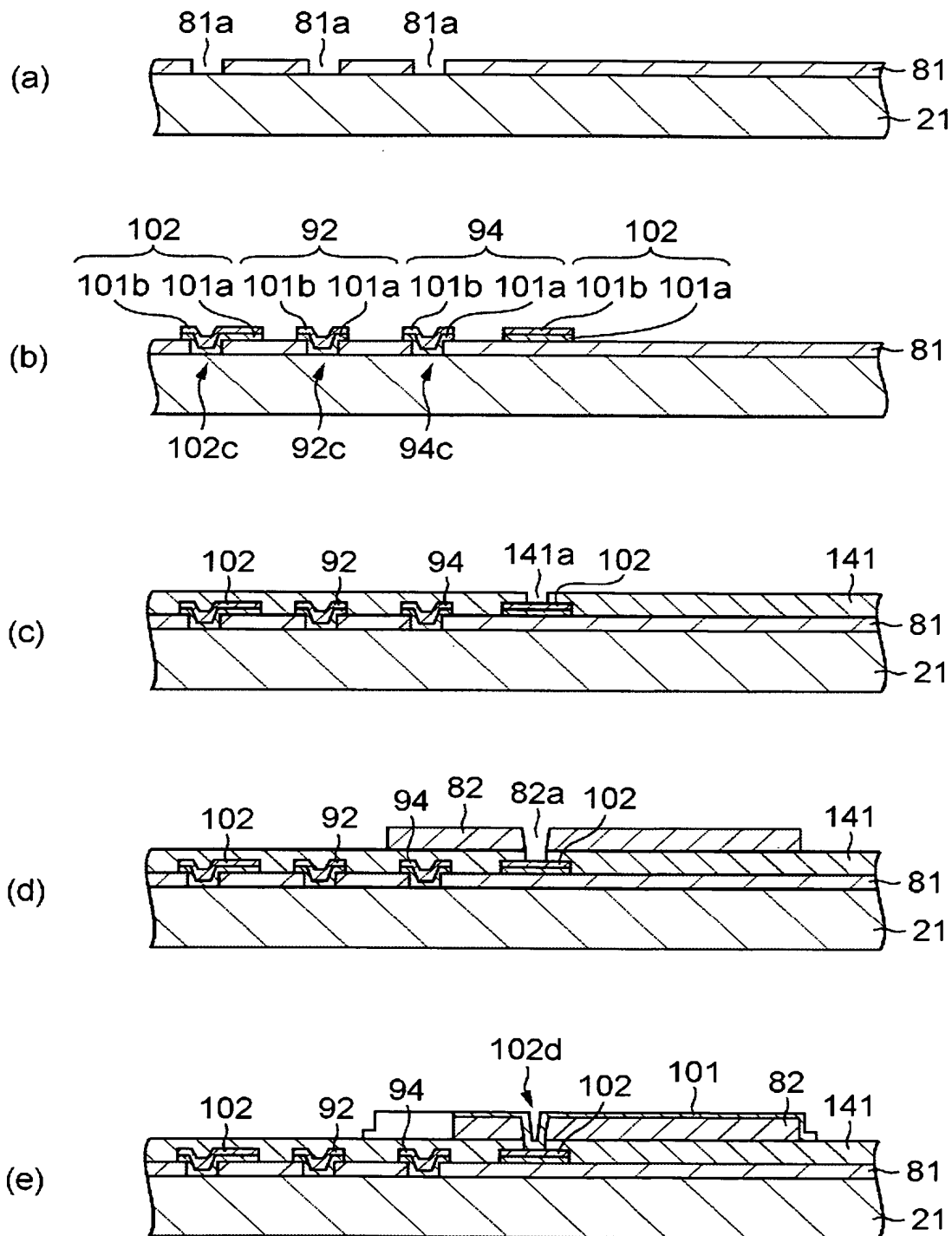
図 13





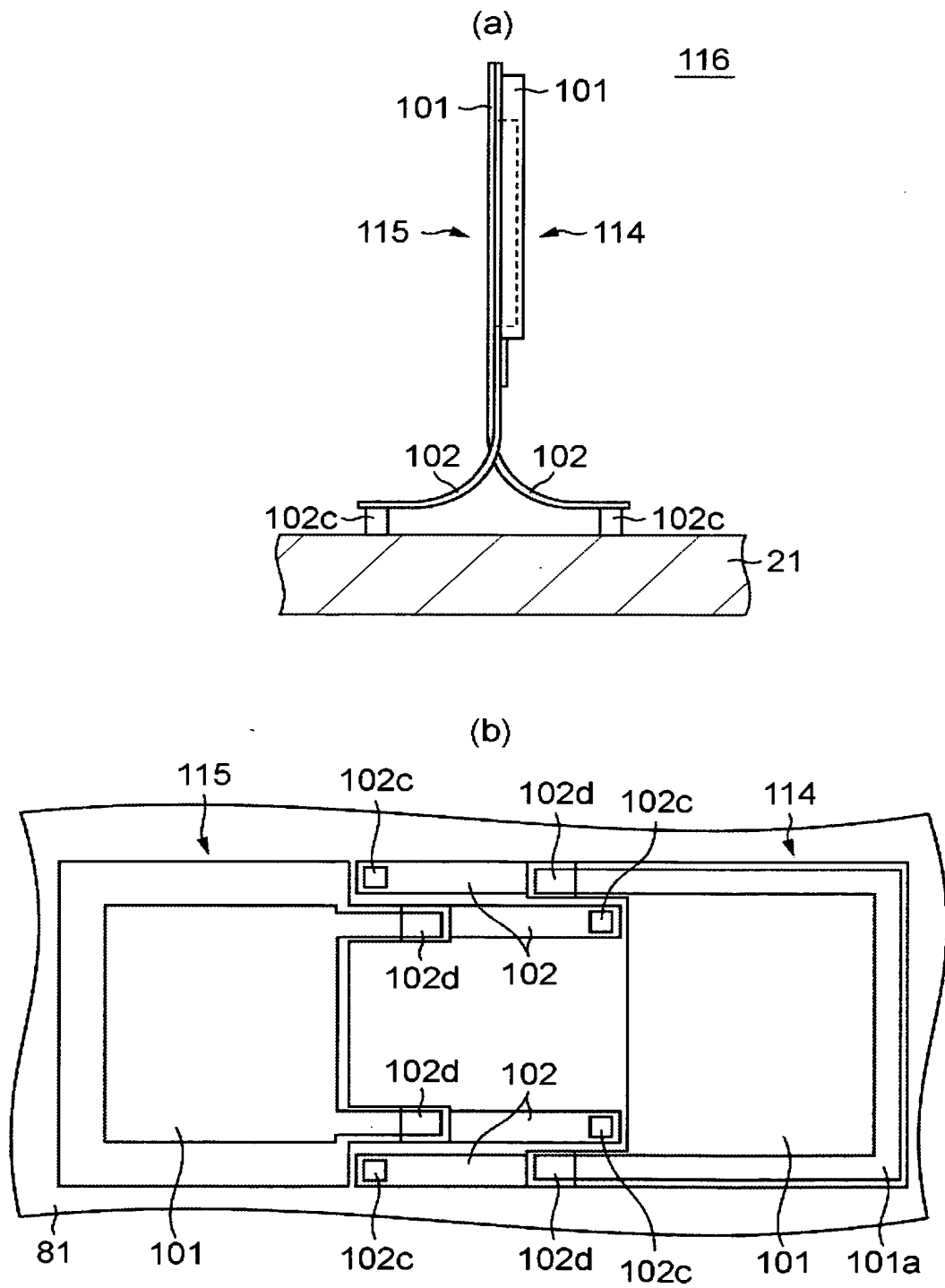
【図 14】

図 14 F-F断面図



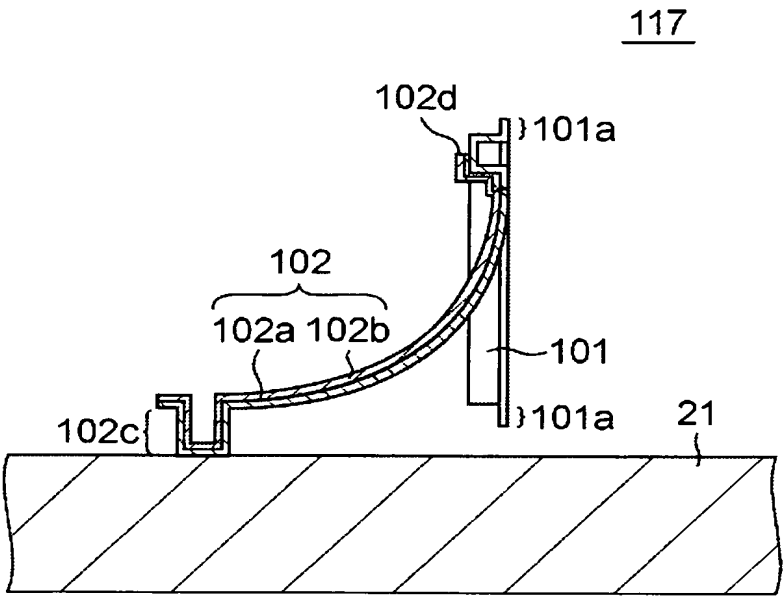
【図 15】

図 15



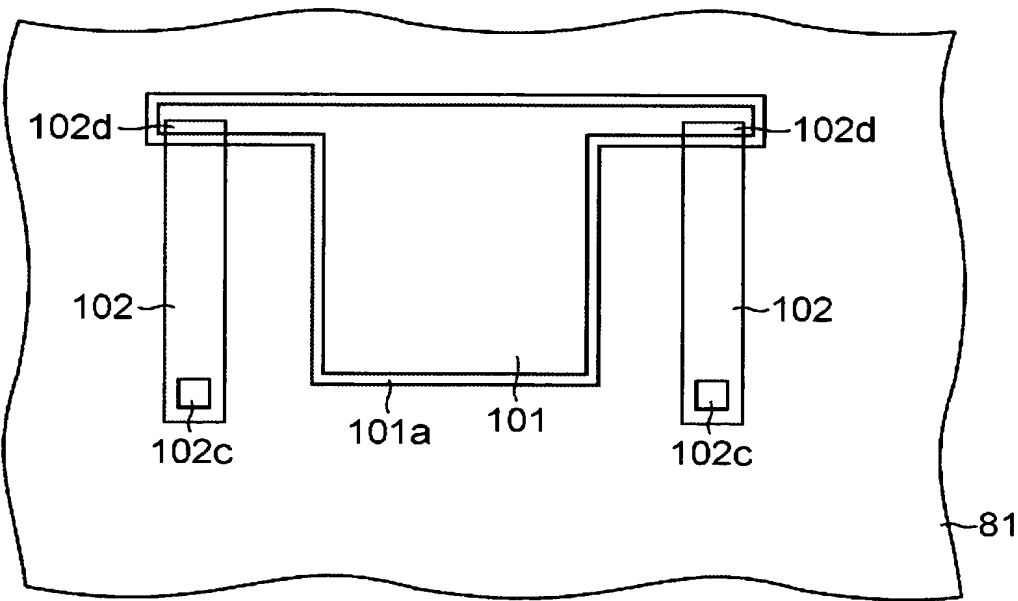
【図 16】

図 16



【図 17】

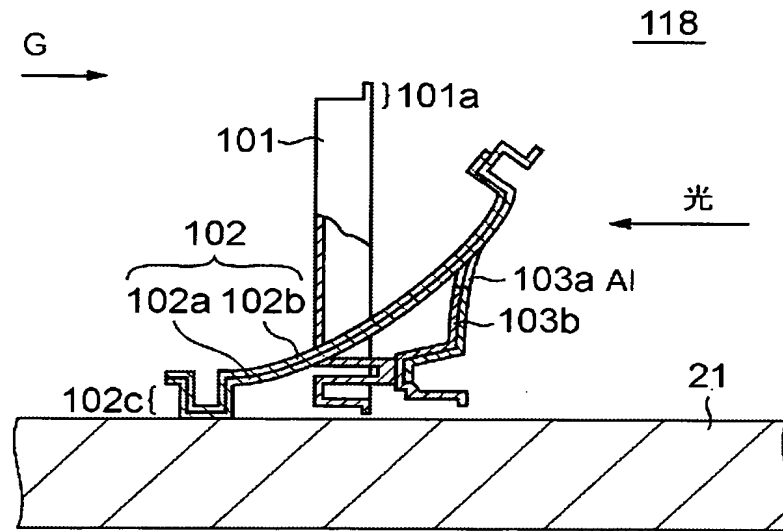
図 17



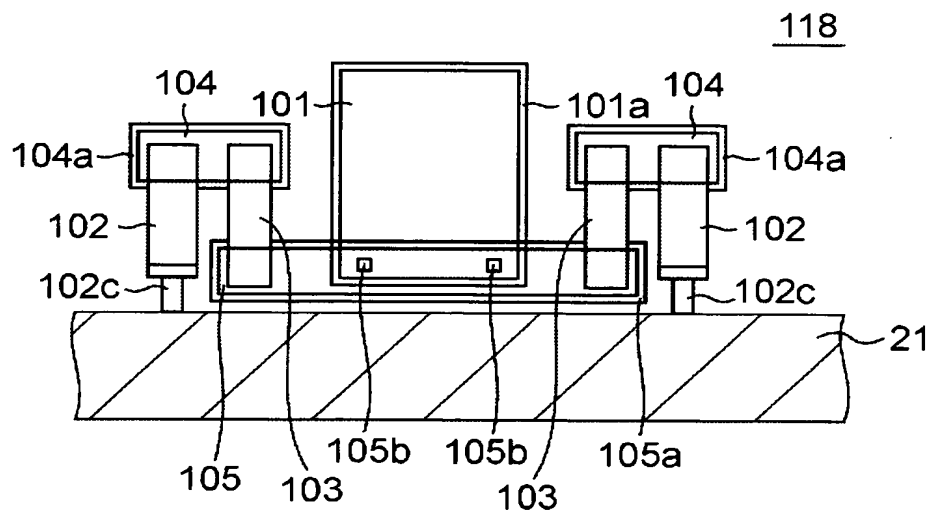
【図 18】

図 18

(a)

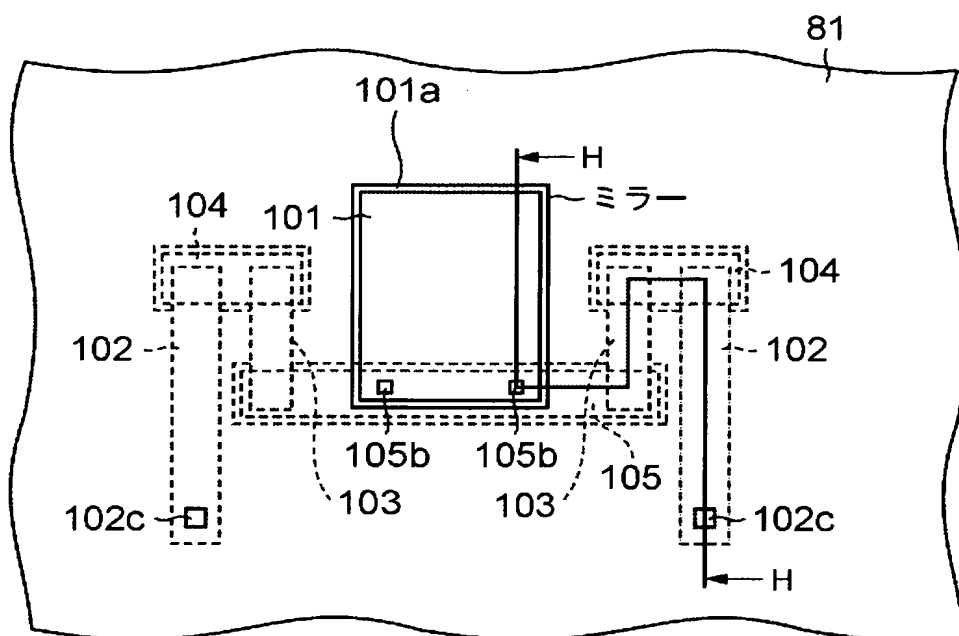


(b) G矢視図



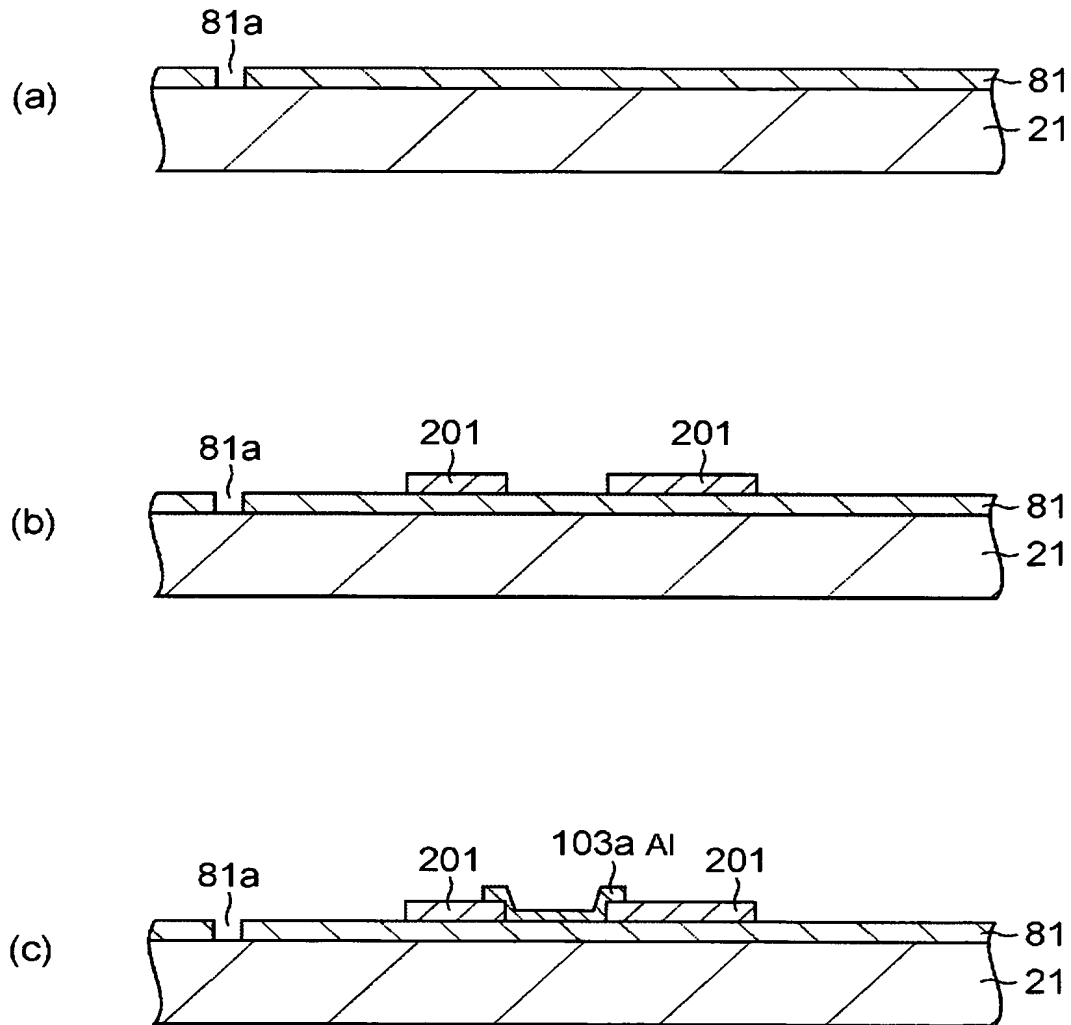
【図 19】

図 19



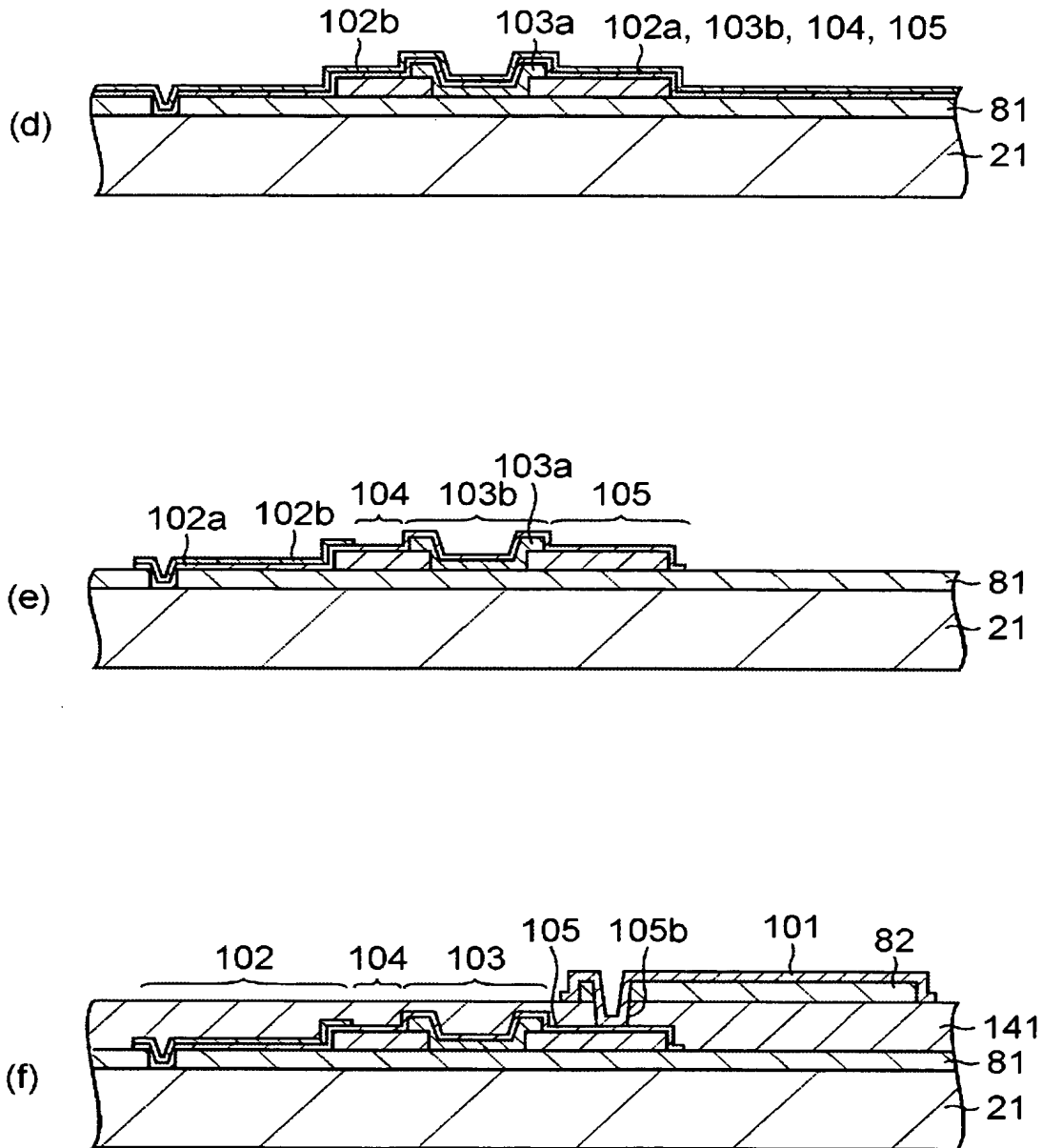
【図 20】

図 20 H-H断面図



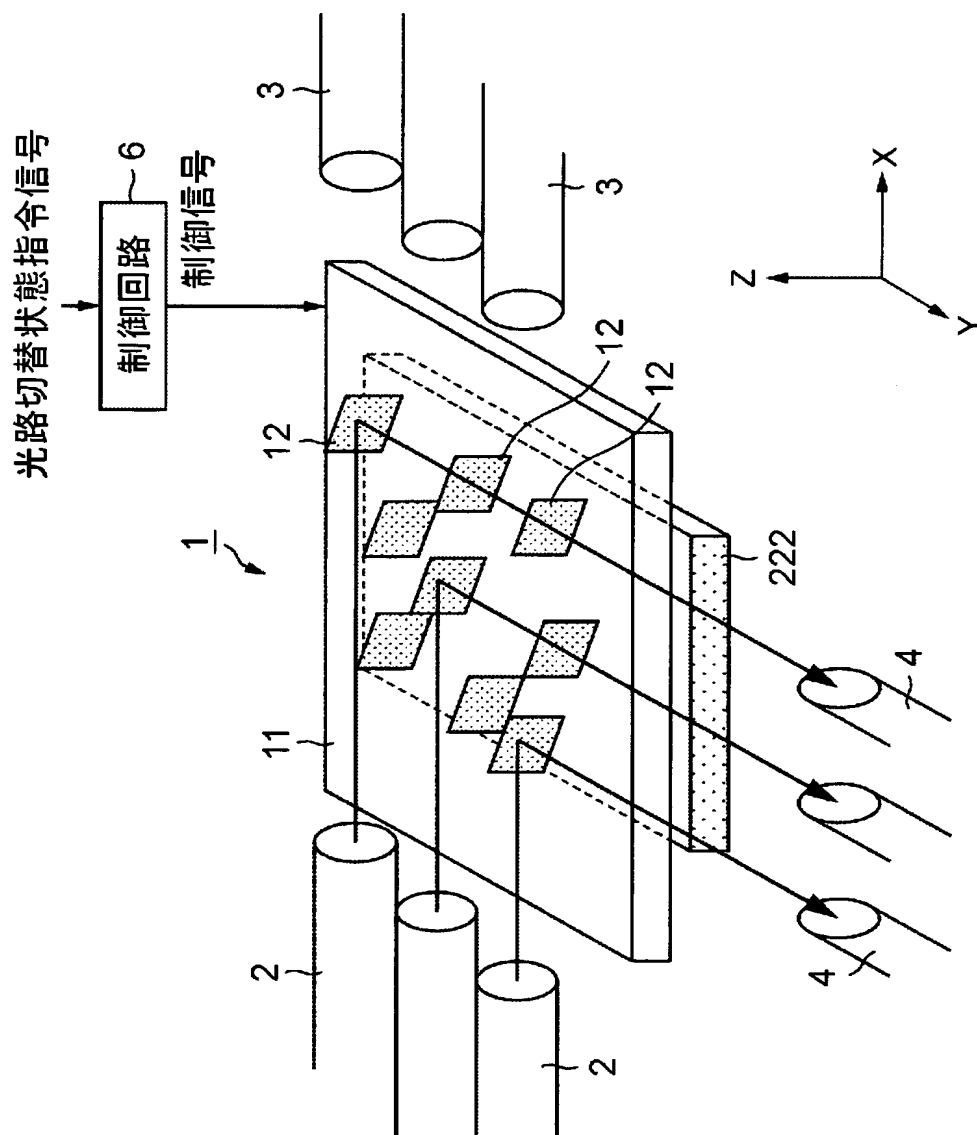
【図 21】

図 21 H-H断面図



【図 22】

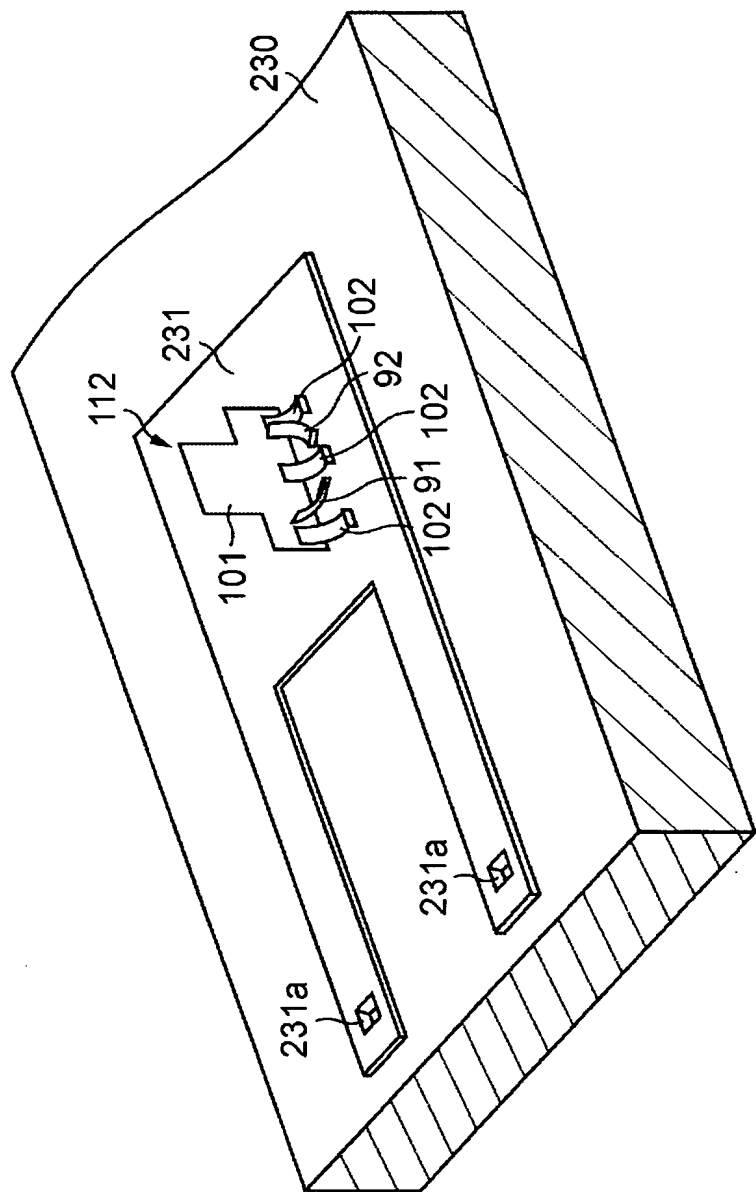
図 22





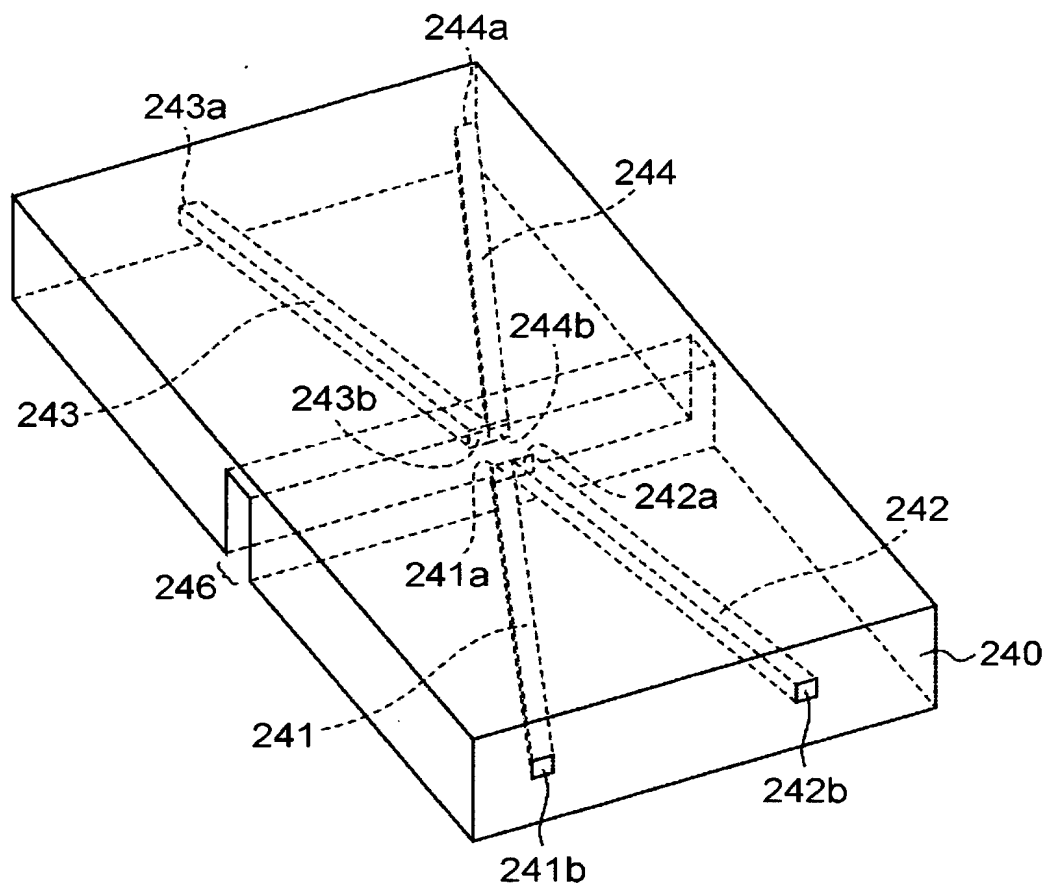
【図 23】

図 23



【図 24】

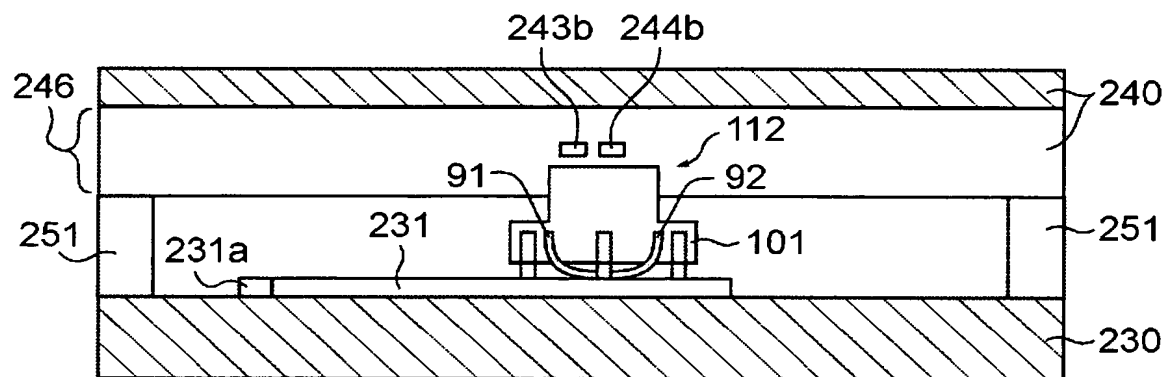
図 24



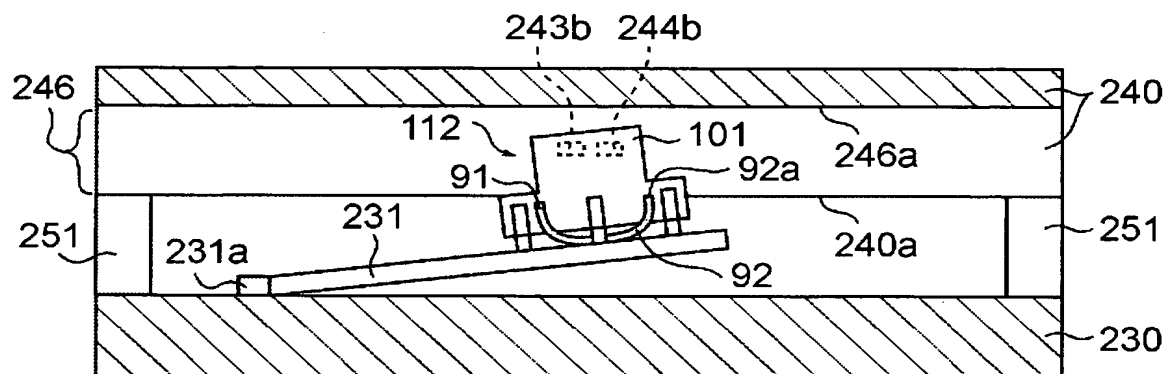
【図 25】

図 25

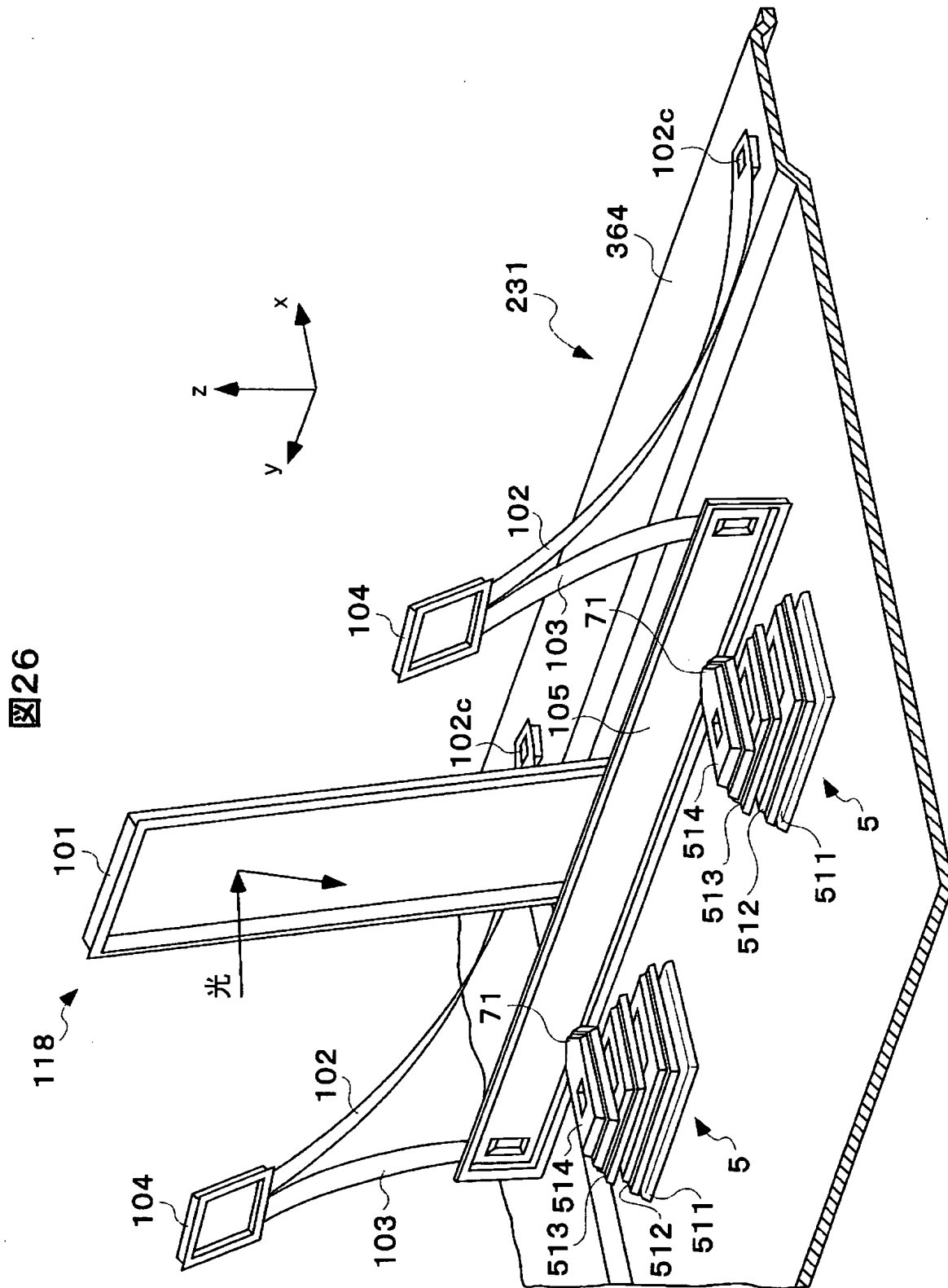
(a)



(b)

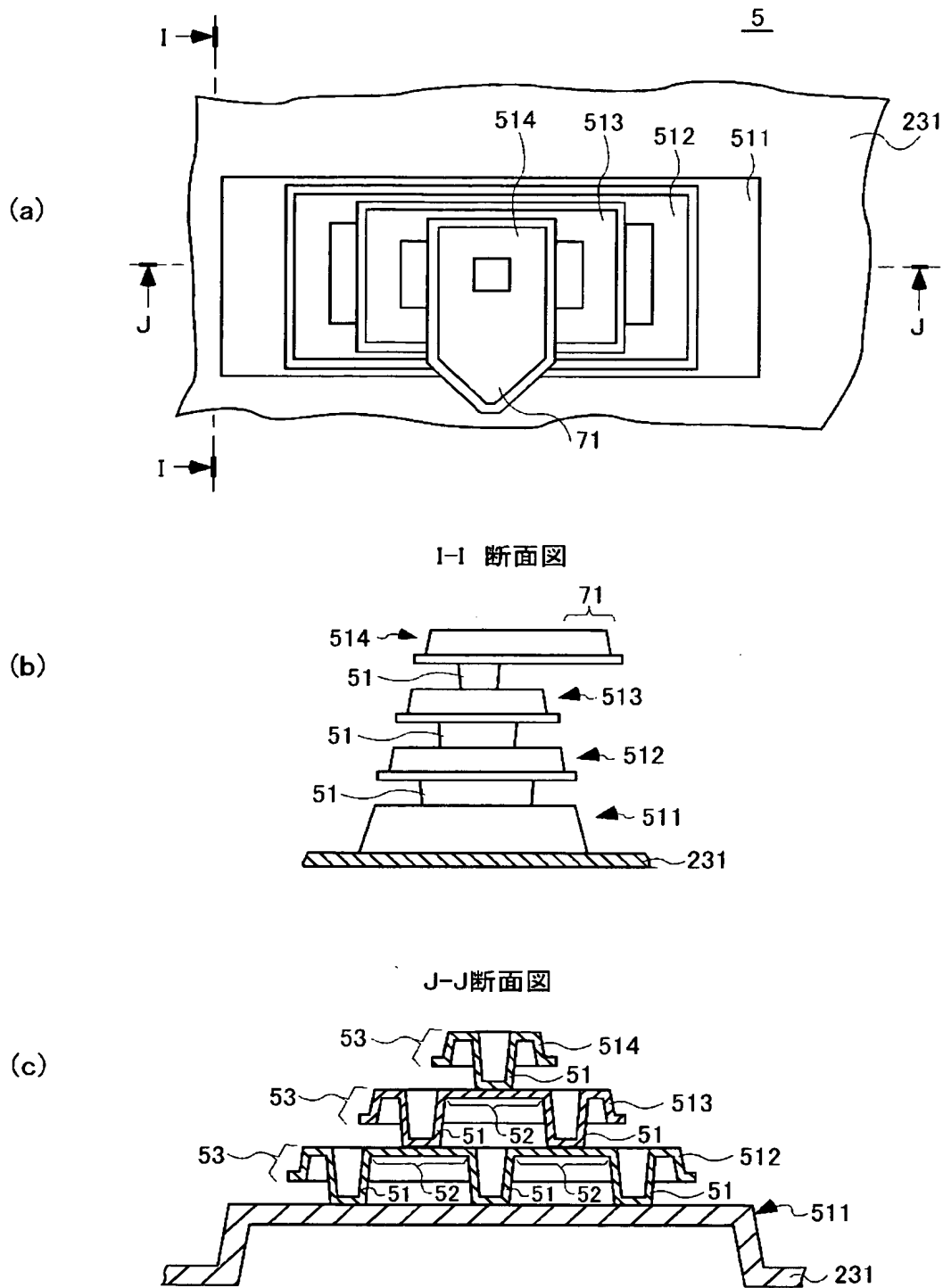


【図 26】



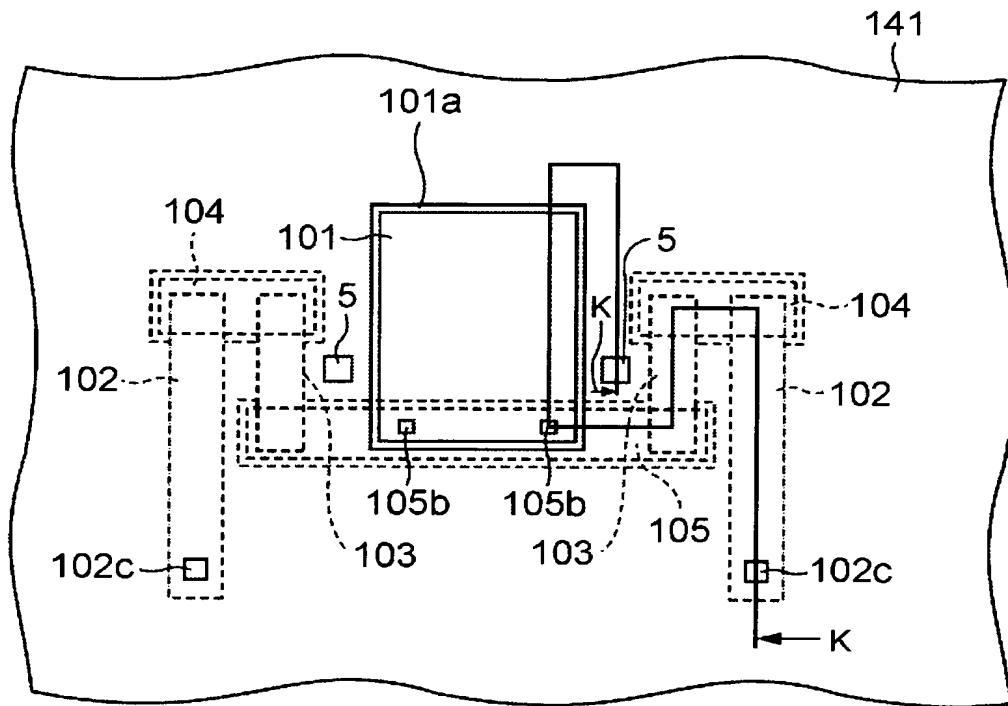
【図 27】

**图27**



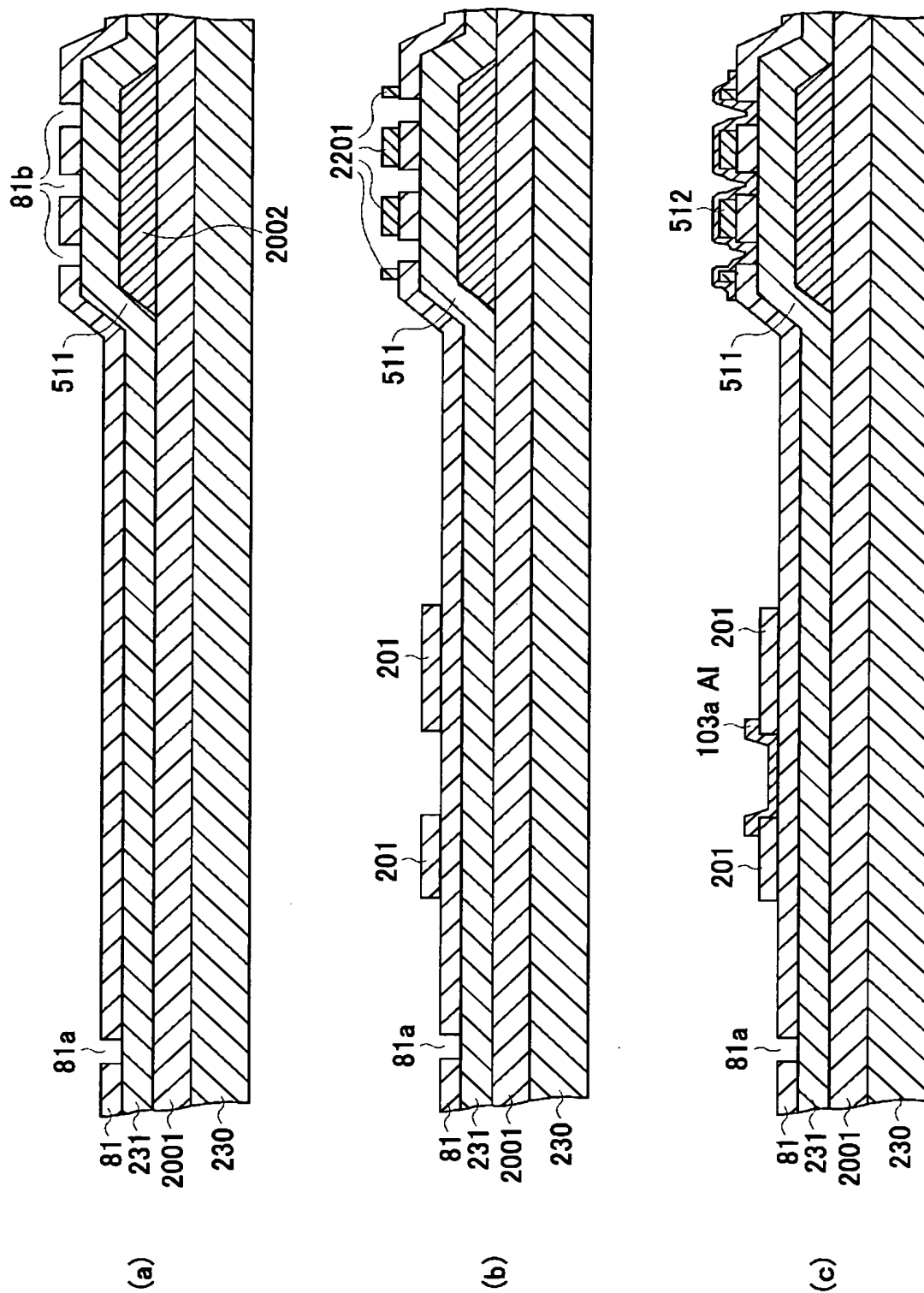
【図 28】

図 28



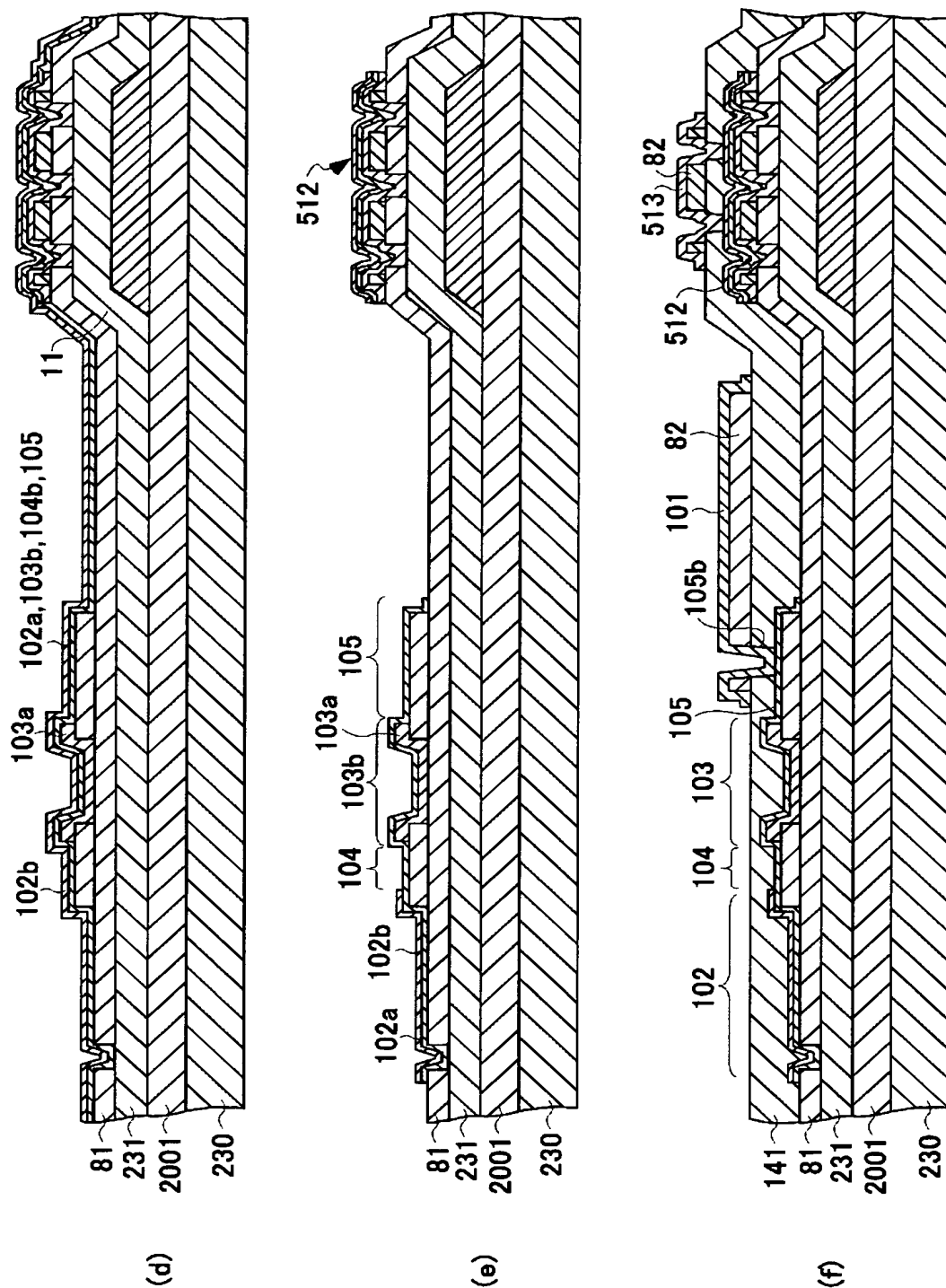
【図 29】

図 29 K-K 断面図



【図 30】

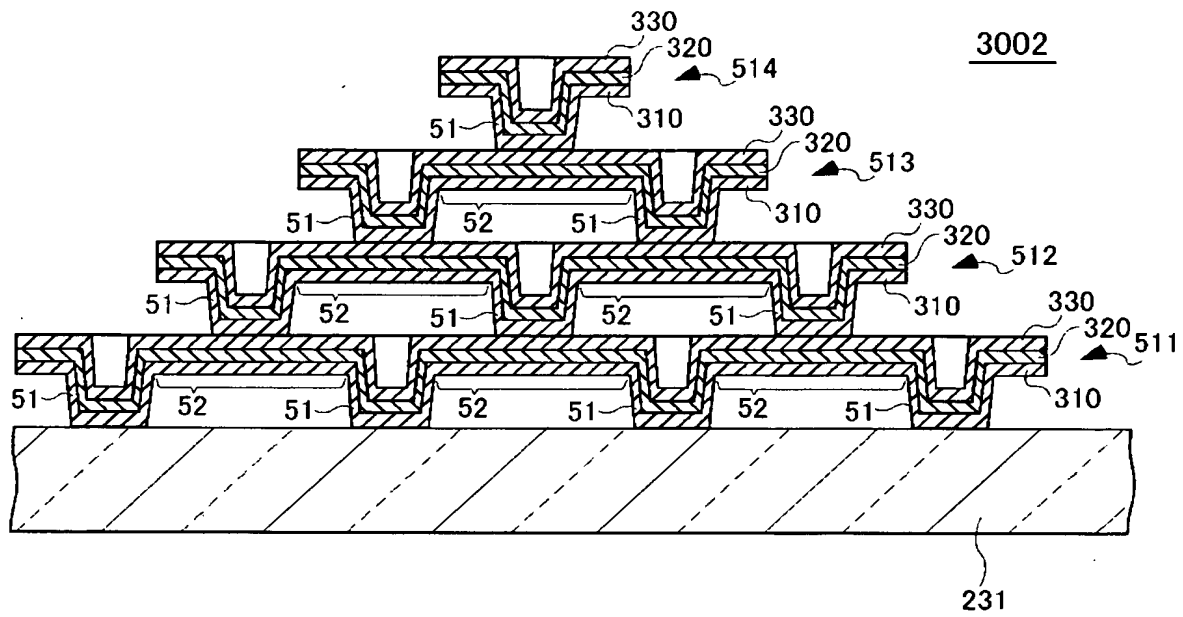
図 30 K-K 断面図





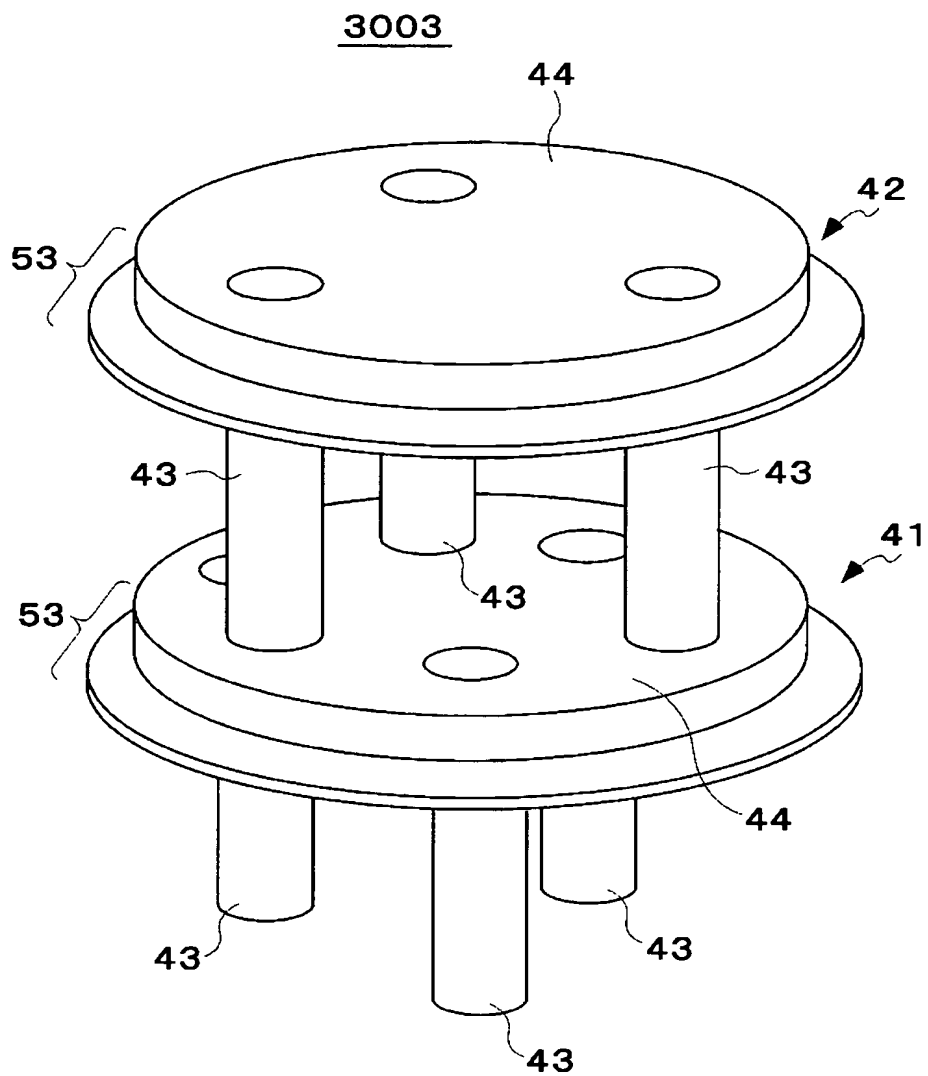
【図 31】

図 31



【図 32】

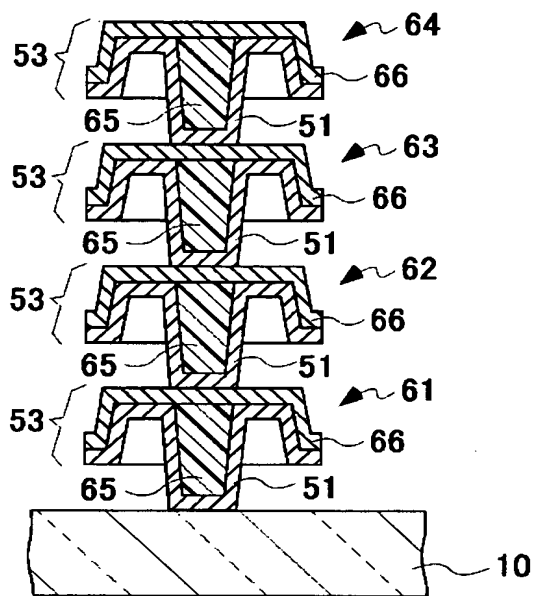
図32



【図 33】

図33

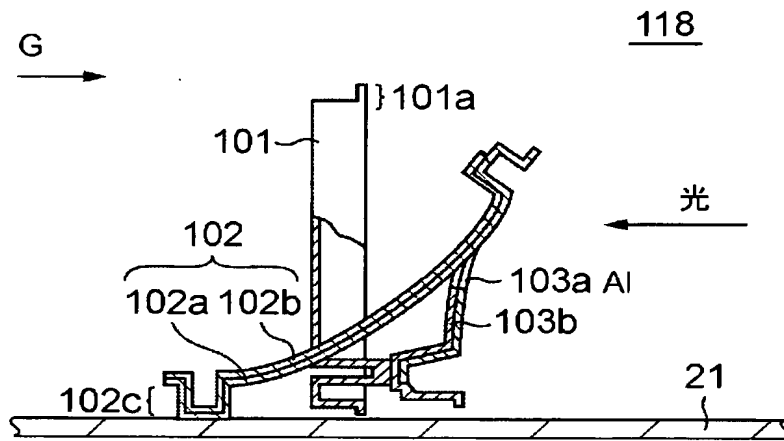
3004



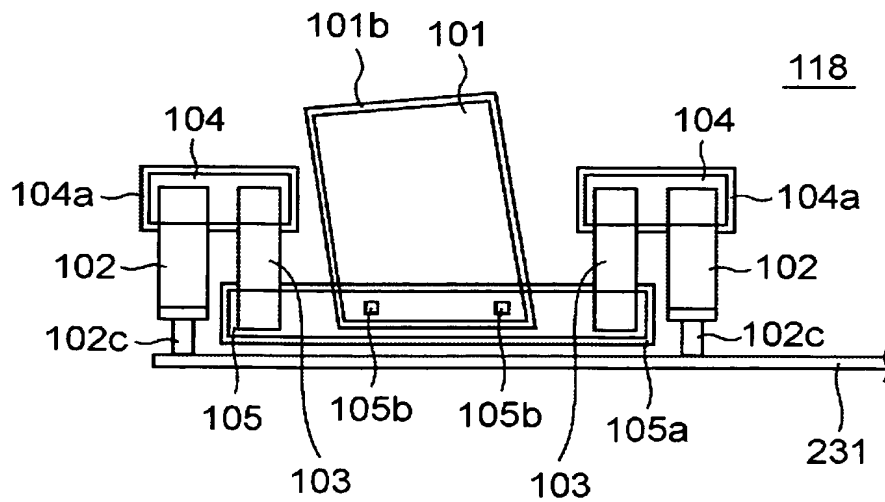
【図 34】

図 34

(a)

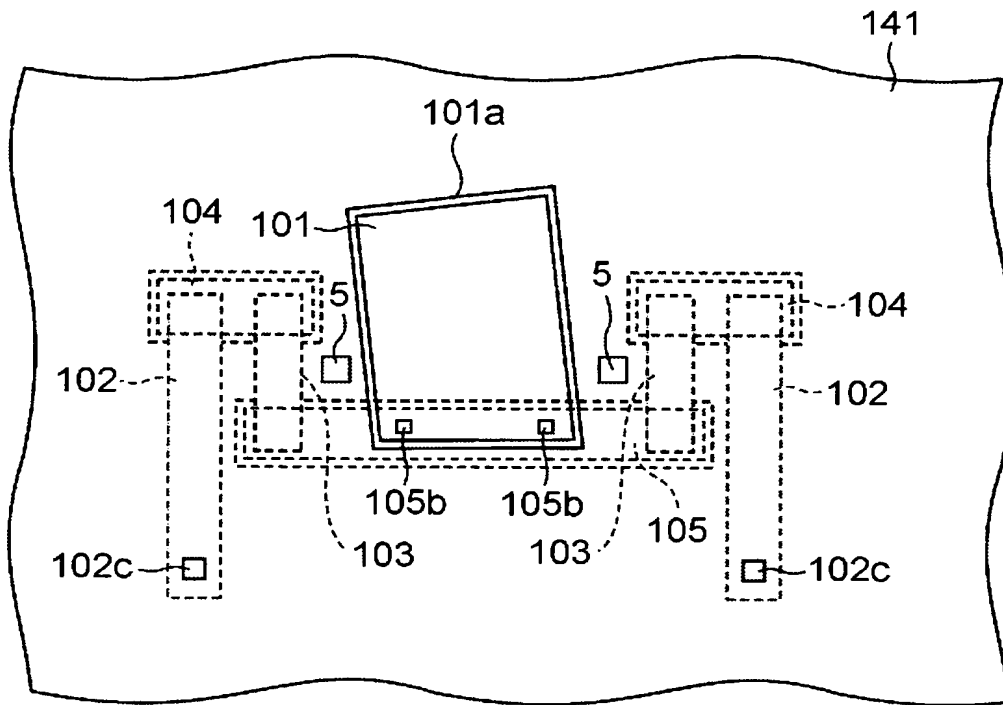


(b) L矢視図

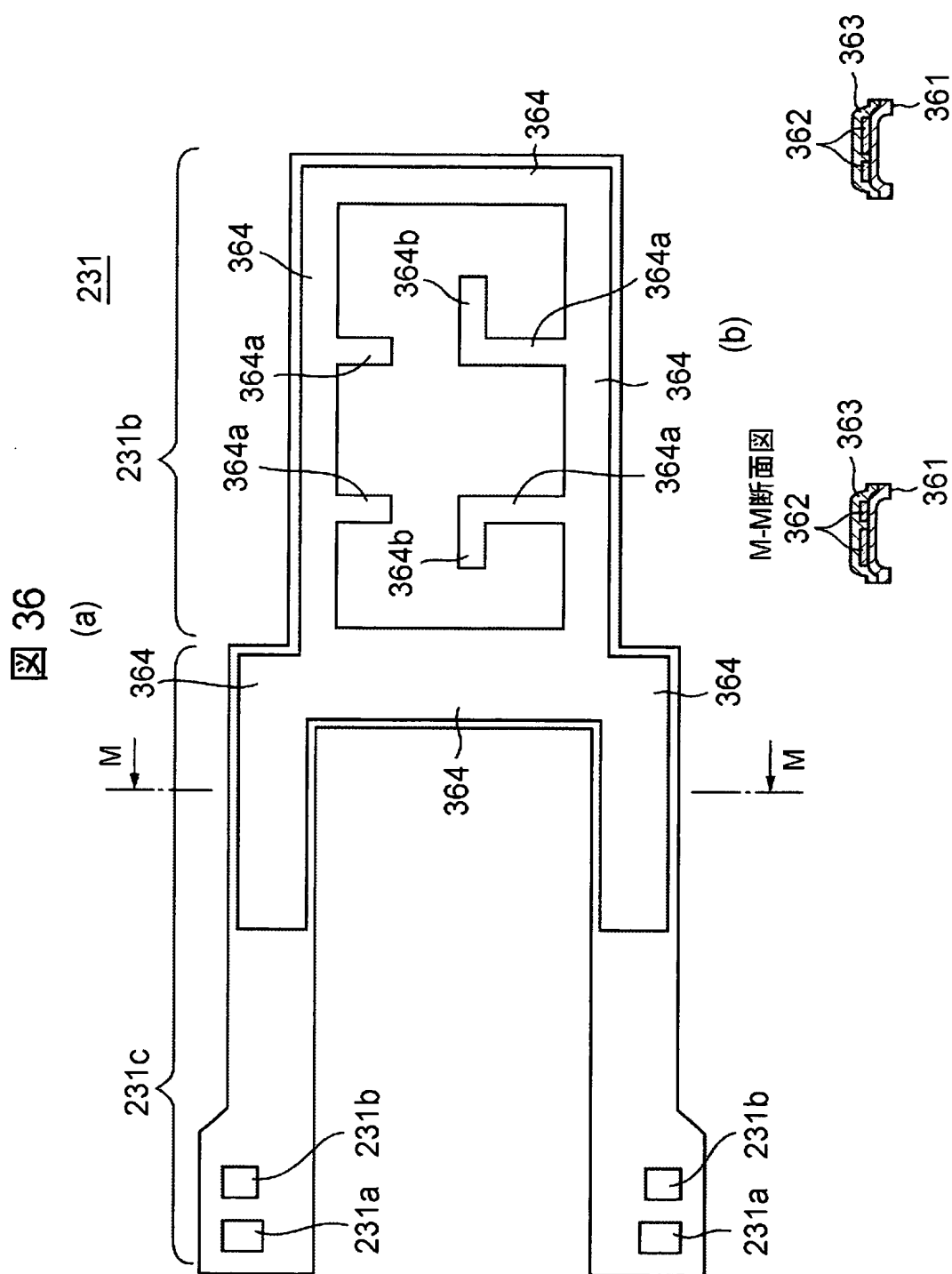


【図 35】

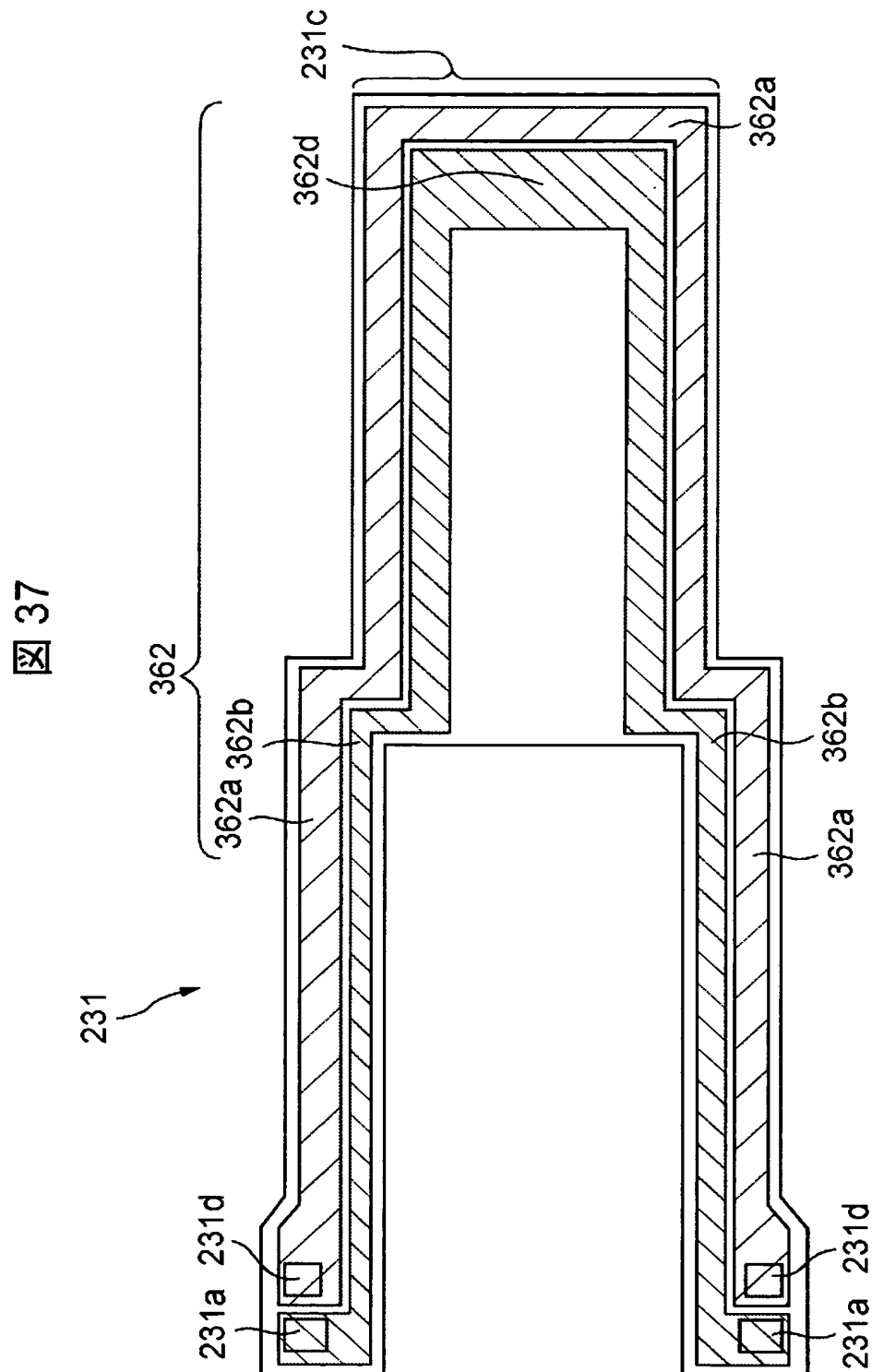
図 35



【図 3 6】

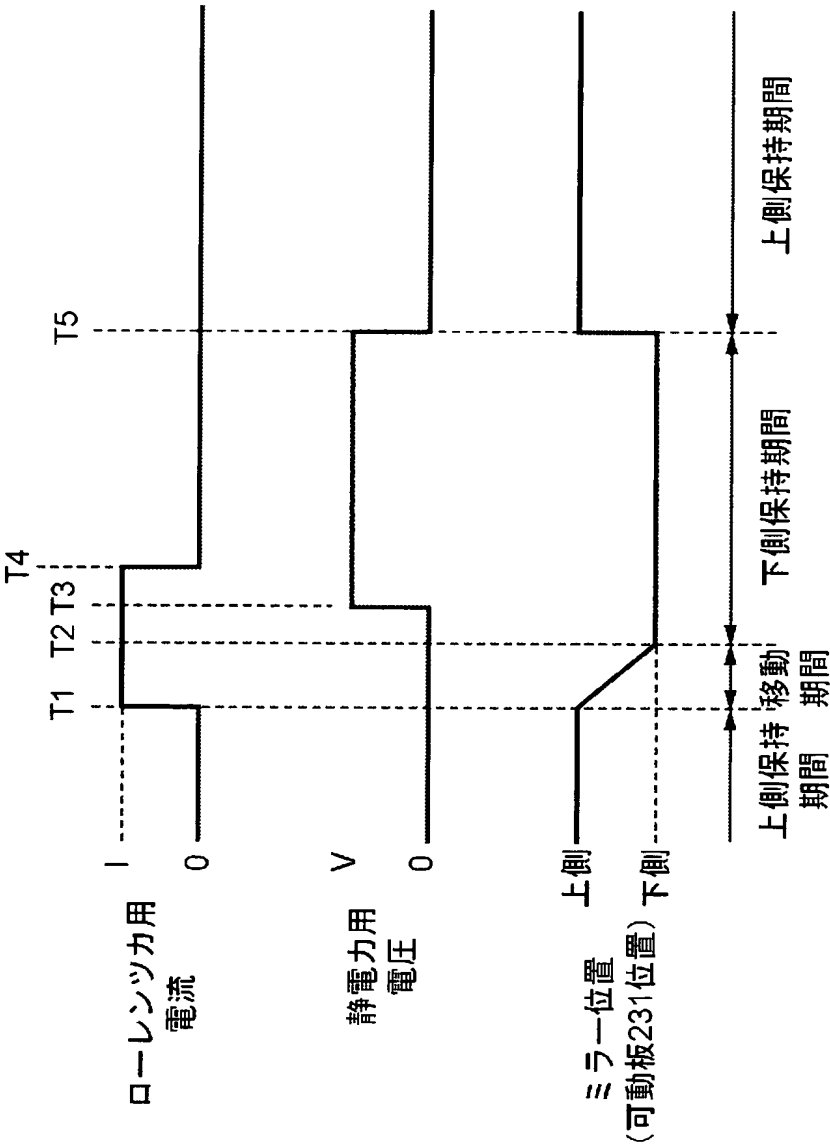


【図 37】



【図 38】

図 38

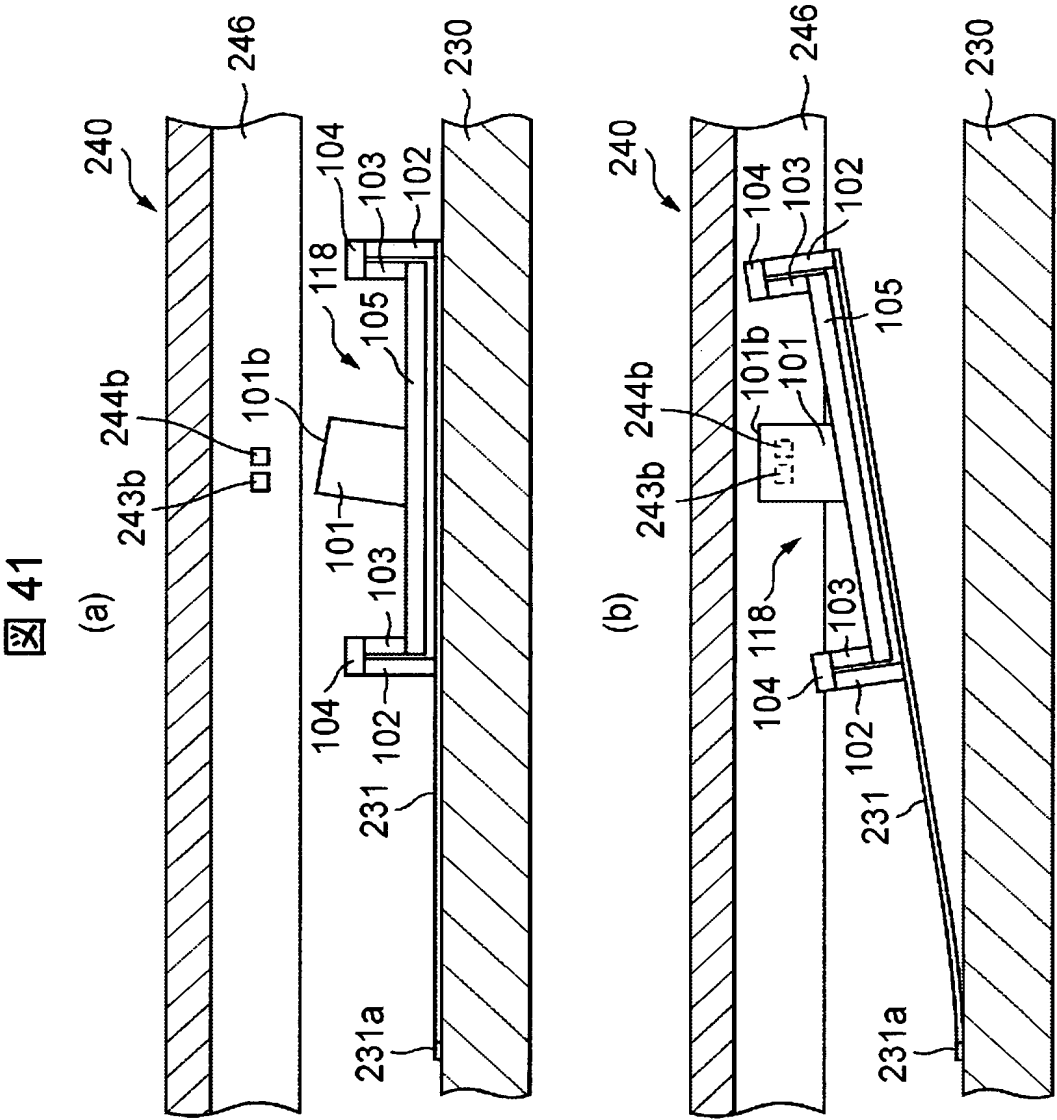








【図 41】



**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 光束を所望の方向へ反射可能な反射部を備えた光学素子を提供する。

**【解決手段】** 基板 21 と、光反射部 101 と、光反射部 101 を基板 21 上に支持する支持部 102 とを有する。光反射部 101 および支持部 102 は、それぞれ、1 以上の膜によって構成される。支持部 102 は、一端 102c が基板 21 に固定され、他端 102d が光反射部 101 を構成する膜と接続され、一端 102c から他端 102d に向かって湾曲することにより、光反射部 101 を構成する膜の主平面を、基板 21 の主平面に対して非平行、例えば垂直に支持している。

**【選択図】** 図 1

特願 2 0 0 2 - 3 0 1 8 7 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 4 1 1 2 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

氏 名

株式会社ニコン